



## PROYECTO FIN DE CARRERA PLAN 2000

E.U.I.T. TELECOMUNICACIÓN

**TEMA:** Evolución de las redes de telecomunicación de banda ancha

**TÍTULO:** Caracterización de usuario y tráfico en la evolución de la banda ancha en España

**AUTOR:** José Antonio Simarro Jiménez

**TUTOR:** Carlos Ramos Nespereira **Vº Bº.**

**DEPARTAMENTO:** DIATEL

**Miembros del Tribunal Calificador:**

**PRESIDENTE:** Antonio Carpeño Ruiz

**VOCAL:** Carlos Ramos Nespereira

**VOCAL SECRETARIO:** Jesús Moreno Blázquez

**DIRECTOR:** Tomás Gutierrez Bernabé

**Fecha de lectura:** 30 de Septiembre de 2013

**Calificación:** **El Secretario,**

### RESUMEN DEL PROYECTO:

El mundo de las telecomunicaciones evoluciona a gran velocidad, acorde con las necesidades de los usuarios.

El crecimiento del número de servicios a través de las conexiones que actualmente utilizamos para conectarnos a Internet (Ej. IPTV) con elevados requerimientos de ancho de banda, que junto a los servicios de nuevo nacimiento (ej. OTT), contribuyen tanto al aumento de la necesidad de mayores velocidades de conexión de los usuarios como a la implantación de nuevos modelos de calidad de servicio.

Las redes de datos de banda ancha (fija y móvil) actuales deben, por lo tanto, experimentar una profunda transformación para conseguir solventar de una forma eficiente los problemas y las necesidades de tráfico, pudiendo así absorber el progresivo incremento del ancho de banda, dejando las puertas abiertas a futuras mejoras. Y para ello las operadoras se nutrirán con la valiosa información de tráfico y usuario que les lleven a tomar las mejores decisiones de cara a que las transformaciones llevadas a cabo cubran exactamente lo que el usuario demanda de la forma más eficiente posible.

Es objetivo principal de este proyecto estudiar en profundidad este marco tecnológico, dando a conocer toda su problemática.



## PROYECTO FIN DE CARRERA PLAN 2000

E.U.I.T. TELECOMUNICACIÓN

**TEMA:**

**TÍTULO:**

**AUTOR:**

**TUTOR:**

**Vº Bº.**

**DEPARTAMENTO:**

**Miembros del Tribunal Calificador:**

**PRESIDENTE:**

**VOCAL:**

**VOCAL SECRETARIO:**

**DIRECTOR:**

**Fecha de lectura:**

**Calificación:**

**El Secretario,**

**RESUMEN DEL PROYECTO:**

## RESUMEN

El mundo de las telecomunicaciones evoluciona a gran velocidad, acorde con las necesidades de los usuarios.

El crecimiento del número de servicios a través de las conexiones que actualmente utilizamos para conectarnos a Internet (Ej. IPTV) con elevados requerimientos de ancho de banda, que junto a los servicios de nuevo nacimiento (ej. OTT), contribuyen tanto al aumento de la necesidad de mayores velocidades de conexión de los usuarios como a la implantación de nuevos modelos de calidad de servicio.

Las redes de datos de banda ancha (fija y móvil) actuales deben, por lo tanto, experimentar una profunda transformación para conseguir solventar de una forma eficiente los problemas y las necesidades de tráfico, pudiendo así absorber el progresivo incremento del ancho de banda, dejando las puertas abiertas a futuras mejoras. Y para ello las operadoras se nutrirán con la valiosa información de tráfico y usuario que les lleven a tomar las mejores decisiones de cara a que las transformaciones llevadas a cabo cubran exactamente lo que el usuario demanda de la forma más eficiente posible.

Con estas premisas, surgieron las ideas que se plasmaron como objetivos del PFC :

- La idea de narrar el despliegue de la banda ancha en España desde sus orígenes hasta la actualidad, enfocando su crecimiento desde un punto de vista socio-tecnológico.
- Dando continuidad al punto anterior, se persiguió la idea de conocer las herramientas sociales y tecnológicas a raíz de las cuales se pueda realizar una previsión del tráfico en las redes de las operadoras en un futuro cercano.
- La pretensión de mostrar las características de los usuarios de banda ancha y del tráfico de datos que generan, que son de carácter crítico para las operadoras en la elaboración de forma adecuada de la planificación de sus redes.
- La intención de revelar los procedimientos de las operadoras para que, una vez conocidas las características de sus usuarios, se puedan cumplir los requisitos demandados por los mismos: QoS y los indicadores clave de rendimiento (KPIs)

Por otro lado, el nivel de detalle dado pretende adecuarse a un público que no tenga profundos conocimientos sobre la materia, y salvo partes bastante concretas, se puede catalogar este trabajo como de abierto al público en general.



## ABSTRACT

The world of telecommunications is evolving at high speed, according to the needs of users.

The growing of services number through the connections that currently have been used to connect to the Internet (eg IPTV ) with high bandwidth requirements, which together with the new birth services (eg OTT ) contribute both to increased the need for higher connection speeds users and the implementation of new models of service quality.

Data networks broadband (fixed and mobile ) today must , therefore, undergo a deep transformation to achieve an efficient solving problems and traffic needs, thus being able to absorb the gradual increase of bandwidth, leaving the door open to future improvements. And for that the operators will be nurtured with valuable information and user traffic that lead them to make better decisions in the face of the transformations carried out exactly meet the user demand for the most efficient possible way.

With these assumptions, the ideas that emerged were expressed as PFC objectives :

- The idea of narrating the broadband deployment in Spain from its origins to the present, focusing its growth from a socio-technological approach.
- Continuing the previous point, it pursued the idea of knowing the social tools and technology as a result of which it can perform a traffic forecast operators networks in the near future.
- The attempt to show the characteristics of broadband users and data traffic they generate, which are mission critical for operators in developing adequately planning their networks.
- The intention to disclose procedures for operators, once known the characteristics of their users, it can meet the requirements demanded by them: QoS and key performance indicators (KPI).

On the other hand, the level of detail given suit seeks an audience that does not have deep knowledge on the subject, unless quite specific parts, this work can be classified as open to the general public.



## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>23</b>
<b>2</b>	<b>EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA BANDA ANCHA EN ESPAÑA .....</b>	<b>27</b>
2.1	NACIMIENTO DEL CABLE EN ESPAÑA.....	27
2.2	APARICIÓN DEL ADSL .....	32
2.3	BANDA ANCHA: DE LOS INICIOS AL PRIMER MILLÓN DE CLIENTES. ....	34
2.4	MASIFICACIÓN DE LA BANDA ANCHA. HACIA LOS 10 MILLONES .....	36
2.5	LA NUEVA BANDA ANCHA.....	42
2.6	PREJUBILACIÓN DEL ADSL.....	50
<b>3</b>	<b>PREVISIÓN DE LA EVOLUCIÓN DEL TRÁFICO DE RED .....</b>	<b>53</b>
3.1	TRÁFICO IP RESIDENCIAL .....	60
3.1.1	Tráfico Residencial de Internet: Fijo (BAF) y Móvil (BAM) .....	61
	Web, Datos, Email .....	63
	FileSharing.....	64
	Juegos En Internet.....	66
	Voz sobre IP (VoIP) .....	67
	Vídeo Internet.....	68
3.1.2	Tráfico IP de Vídeo No Internet .....	76
3.2	TRÁFICO EMPRESARIAL .....	77
3.3	TRÁFICO MÓVIL .....	78
3.4	CAUSAS DEL CRECIMIENTO DEL TRÁFICO .....	80
3.4.1	Drivers BAM .....	80
	Diversidad y mejora de terminales .....	80
	Más dispositivos y mayores tasas de tráfico por dispositivo .....	81
	Nuevos servicios para el usuario móvil.....	85
	Velocidad de conexión y Mejoras tecnológicas (4G) .....	88
	Nuevo modelo de tarificación: Tiered price .....	89
3.4.2	Drivers BAF .....	91
	El Vídeo, factor clave .....	91
	Crecimiento de vídeo de Internet .....	96
3.5	CONCLUSIONES.....	101

<b>4</b>	<b>MODELADO Y CONTROL DE TRÁFICO .....</b>	<b>103</b>
4.1	MODELADO DEL TRÁFICO .....	104
4.1.1	El modelamiento de tráfico y sus inicios. ....	105
4.1.2	Cambios en el paradigma del tráfico. ....	106
4.1.3	Fractal.....	108
4.1.4	Tráfico fractal: propiedades.....	110
4.1.5	Modelos de tráfico fractal. ....	112
4.1.6	Conclusiones.....	113
4.2	NECESIDAD DE SINGULARIZAR Y LIMITAR LA BA .....	113
4.3	POLÍTICAS DE USO JUSTO Y TÉCNICAS DE CONTROL DEL AB .....	116
4.4	NEUTRALIDAD DE RED Y DEEP PACKET INSPECTION.....	118
4.5	TÉCNICAS PARA MINIMIZAR EL IMPACTO DEL VÍDEO. ....	122
4.5.1	P2P.....	122
4.5.2	P4P.....	126
<b>5</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DEL USUARIO .....</b>	<b>131</b>
5.1	DESIGUALDADES DE CONSUMO DE TRÁFICO ENTRE USUARIOS.....	132
5.1.1	Curva de Lorenz y Coeficiente Gini.....	132
5.1.2	Análisis de los <i>Heavy Users</i> .....	137
5.2	EVOLUCIÓN DEL TRÁFICO DURANTE EL DÍA.....	143
5.2.1	Consumo de tráfico de BA a lo largo del día.....	143
5.2.2	Tipología del tráfico a lo largo del día.....	147
5.3	TIPOLOGÍA DEL TRÁFICO Y SU EVOLUCIÓN .....	152
5.3.1	Tipología del tráfico en hora media y hora cargada.....	152
5.3.2	Evolución de la tipología del tráfico en los últimos años .....	153
5.4	EVOLUCIÓN DE LA INTENSIDAD Y VOLUMEN DE TRÁFICO .....	158
5.4.1	Peak Hours vs Average Hours.....	160
5.5	CONCLUSIONES .....	164
<b>6</b>	<b>CALIDAD DE SERVICIO (QOS) .....</b>	<b>167</b>
6.1	CARACTERÍSTICAS DE LA QOS .....	167
6.1.1	Aspectos Generales.....	167
6.1.2	Planificación y dimensionamiento de las redes.....	169



Dimensionamiento de redes IP .....	170
Parámetros en el dimensionado y perturbaciones .....	172
6.1.3 QoS en redes de conmutación de paquetes (redes IP).....	173
DiffServ (Differentiated Services) .....	175
MPLS.....	178
6.1.4 Servicio de acceso a Internet y Servicios Gestionados.....	180
6.1.5 Percepción de QoS del usuario.....	181
Velocidad de acceso a Internet percibida por el usuario: test de velocidad .....	181
Tiempo de establecimiento de una sesión Internet.....	184
6.2 KEY PERFORMANCE INDICADOR (KPI).....	185
6.2.1 EFICIENCIA .....	187
Económica .....	187
No económica .....	191
6.2.2 TAMAÑO .....	193
6.2.3 CALIDAD .....	195
6.2.4 EVOLUCIÓN.....	204
Convergencia.....	204
Evolución del Acceso .....	206
Otros.....	209
<b>7 CONCLUSIONES GLOBALES .....</b>	<b>211</b>
<b>8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>215</b>
8.1 REFERENCIAS .....	215
8.2 BIBLIOGRAFÍA .....	220



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. USO DE INTERNET EN EUROPA (1999) .....	28
FIGURA 2. VELOCIDAD DE LOS MODEMS TELEFÓNICOS .....	29
FIGURA 3. OPERADORES DE CABLE INICIALES EN ESPAÑA.....	31
FIGURA 4. ATENUACIÓN DEL ANCHO DE BANDA DEL ADSL2 Y ADSL2+ .....	37
FIGURA 5. EVOLUCIÓN DEL NÚMERO DE ACCESOS POR TECNOLOGÍA 2001-2004.....	38
FIGURA 6. DISTRIBUCIÓN DE ACCESOS POR TECNOLOGÍA Y OPERADOR .....	39
FIGURA 7. AUMENTO PROGRESIVO DE LA VELOCIDAD DE ACCESO.....	40
FIGURA 8. EVOLUCIÓN DE LOS ACCESOS POR TECNOLOGÍA 2007-2010.....	42
FIGURA 9. MOVILIDAD DEMANDADA EN 2010 POR LOS USUARIOS. ....	43
FIGURA 10. ANCHO DE BANDA MÓVIL DEMANDADO EN 2010 .....	43
FIGURA 11. VOLUMEN DE TRÁFICO DE DATOS EN LAS REDES MÓVILES.....	44
FIGURA 12. TECNOLOGÍAS PARA ANCHO DE BANDA Y MOVILIDAD.....	45
FIGURA 13. ULTRA BANDA ANCHA POR FIBRA ÓPTICA .....	46
FIGURA 14. ARQUITECTURA NGN.....	48
FIGURA 15. ARQUITECTURA IMS .....	49
FIGURA 16. TRÁFICO RESIDENCIAL DE INTERNET: FIJO (BAF) Y MÓVIL (BAM) .....	62
FIGURA 17. PONDERACIÓN TRÁFICO RESIDENCIAL DE INTERNET: BAF Y BAM.....	63
FIGURA 18. CAGR WEB, DATOS, EMAIL.....	64
FIGURA 19. CAGR <i>FILESHARING</i> .....	66
FIGURA 20. CAGR JUEGOS EN INTERNET .....	67
FIGURA 21. CAGR VOZ SOBRE IP (VOIP).....	68
FIGURA 22. CAGR VÍDEO INTERNET .....	69
FIGURA 23. VÍDEO DE INTERNET A PC.....	72
FIGURA 24. WD TV LIVE Y APPLE TV .....	74
FIGURA 25. VÍDEO DE INTERNET A TV.....	74
FIGURA 26. VÍDEO DE INTERNET A MÓVIL .....	75
FIGURA 27. TRÁFICO IP DE VÍDEO NO INTERNET.....	76
FIGURA 28. TRÁFICO EMPRESARIAL .....	78
FIGURA 29. TRÁFICO MÓVIL .....	79
FIGURA 30. DIVERSIDAD Y MEJORA DE TERMINALES.....	81
FIGURA 31. NÚMERO DE CONEXIONES BAM.....	82
FIGURA 32. EVOLUCIÓN DE LA MEDIA DE DATOS CONSUMIDOS POR CADA USUARIO EN EUROPA .....	83

FIGURA 33. TRÁFICO MÓVIL GENERADO POR APLICACIONES MULTIMEDIA EN LA NUBE .....	87
FIGURA 34. CRECIMIENTO DEL CONSUMO BAM EN NIVELES DE INTESIDAD .....	91
FIGURA 35. PREVISIÓN DEL CRECIMIENTO DEL TRÁFICO DE VÍDEO .....	92
FIGURA 36. ETAPAS DE DESARROLLO DEL TRÁFICO DE VÍDEO .....	97
FIGURA 37. CRECIMIENTO DEL VÍDEO .....	98
FIGURA 38. TRÁFICO EN BASE AL CONSUMO DE HORAS DE TV .....	99
FIGURA 39. FRACTALIDAD DE LA HOJA DE HELECHO .....	109
FIGURA 40. COMPOSICIÓN DE UN OBJETO AUTOSIMILAR .....	110
FIGURA 41. TRÁFICO TIPO FRACTAL VS POISSON.....	111
FIGURA 42. RED P2P .....	124
FIGURA 43. COMPARATIVA RED TRADICIONAL, P2P Y P4P. ....	127
FIGURA 44. CENTRALIZACIÓN DE P2P VS DESCENTRALIZACIÓN DE P4P .....	128
FIGURA 45. CURVA DE LORENZ .....	133
FIGURA 46. ÍNDICE GINI.....	135
FIGURA 47. A)PUNTO (PI, QI); B)ALTURA PI; C) DIFERENCIA PI-QI .....	136
FIGURA 48. A) AREA CURVA LORENZ Y B) ÁREA ENCERRADA IGUALDAD PERFECTA .....	136
FIGURA 49. DESIGUALDAD DE CONSUMO ENTRE USUARIOS.....	138
FIGURA 50. TENDENCIA <i>HEAVY USERS</i> .....	140
FIGURA 51. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA <i>HEAVY USERS</i> BAM Y BAF .....	141
FIGURA 52. TIPOLOGÍA DE TRÁFICO BAM DEL 10% MÁS CONSUMIDOR FRENTE AL RESTO.....	142
FIGURA 53. TIPOLOGÍA DE TRÁFICO BAF DEL 10% MÁS CONSUMIDOR FRENTE AL RESTO .....	143
FIGURA 54. DISTRIBUCIÓN DEL TRÁFICO DIARIO BAF .....	144
FIGURA 55. HORA CARGADA BAF EN DIFERENTES REGIONES .....	145
FIGURA 56. DISTRIBUCIÓN DEL TRÁFICO DIARIO BAM .....	146
FIGURA 57. HORA CARGADA BAM EN DIFERENTES REGIONES .....	147
FIGURA 58. EVOLUCIÓN TIPOLOGICA BAF DE SUBIDA EN EUROPA DURANTE EL DÍA .....	148
FIGURA 59. EVOLUCIÓN TIPOLOGICA BAF DE BAJADA EN EUROPA DURANTE EL DÍA .....	149
FIGURA 60. EVOLUCIÓN TIPOLOGICA BAM DE SUBIDA EN AMÉRICA DEL NORTE DURANTE EL DÍA.....	150
FIGURA 61. EVOLUCIÓN TIPOLOGICA BAM DE BAJADA EN AMÉRICA DEL NORTE DURANTE EL DÍA .....	151
FIGURA 62. EVOLUCIÓN TIPOLOGICA BAF: HORA MEDIA VS HORA CARGADA.....	152
FIGURA 63. EVOLUCIÓN TIPOLOGICA BAM: HORA MEDIA VS HORA CARGADA.....	153
FIGURA 64. EVOLUCIÓN DE LA TIPOLOGÍA DEL TRÁFICO EN EUROPA.....	154
FIGURA 65. EVOLUCIÓN TRÁFICO P2P EN ESPAÑA .....	155
FIGURA 66. TIPOLOGÍA DEL VÍDEO.....	156
FIGURA 67. VOLUMEN DE TRÁFICO DESCARGADO BAF.....	159

FIGURA 68. VOLUMEN DE TRÁFICO DE DESCARGADO BAM .....	159
FIGURA 69. INTENSIDAD DE TRÁFICO BAF: BH VS AH .....	160
FIGURA 70. INTENSIDAD DE TRÁFICO BAF POR USUARIO: BH VS AH .....	161
FIGURA 71. INTENSIDAD DE TRÁFICO BAM: BH VS AH .....	162
FIGURA 72. INTENSIDAD DE TRÁFICO BAM POR USUARIO: BH VS AH .....	163
FIGURA 73. VOLUMEN DE TRÁFICO DESCARGADO BAF POR USUARIO .....	163
FIGURA 74. VOLUMEN DE TRÁFICO DESCARGADO BAM POR USUARIO .....	164
FIGURA 75. COMPARATIVA DESIGUALDAD TRÁFICO BAM VS BAF .....	165
FIGURA 76. COMPARATIVA TRÁFICO DESCARGADO POR % DE USUARIOS BAM VS BAF .....	165
FIGURA 77. CUATRO PUNTOS DE VISTA DE LA QoS.....	167
FIGURA 78. EJEMPLO DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE TRÁFICO A LO LARGO DEL DÍA.....	170
FIGURA 79. EJEMPLO DE MPLS .....	179
FIGURA 80. CONVERGENCIA FIJO – MÓVIL .....	204



## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. TRÁFICO IP GLOBAL, 2012-2016.....	55
TABLA 2. CATEGORIZACIÓN DEL TRÁFICO IP .....	58
TABLA 3. TRÁFICO IP RESIDENCIAL, 2012-2016 .....	60
TABLA 4. CRECIMIENTO DE USO DE DISPOSITIVOS MÓVILES .....	82
TABLA 5. VELOCIDAD MEDIA DE CONEXIÓN DE RED MÓVIL .....	88
TABLA 6. DATOS DE CURVA DE LORENZ .....	134
TABLA 7. CÁLCULOS COEFICIENTE GINI .....	137
TABLA 8. CLASIFICACIÓN DE APLICACIONES BAF POR DEMANDA DE TRÁFICO .....	156
TABLA 9. CLASIFICACIÓN DE APLICACIONES BAM POR DEMANDA DE TRÁFICO .....	157





## ACRÓNIMOS

3GPP	<i>Generation Partnership Project</i>
ADSL	<i>Asimetric Digital Subscriber Line</i>
AH	<i>Average Hour</i>
ARMA	<i>Auto Regresive Moving Average</i>
ATM	<i>Asynchronus Transfer Mode</i>
BA	Banda Ancha
BAF	Banda Ancha Fija
BAM	Banda Ancha Móvil
BE	Banda Estrecha
BH	<i>Busy Hour</i>
BOE	Boletín Oficial del Estado
BRAS	<i>Broadband Remote Access Server</i>
BTS	<i>Base Transceiver Station</i>
CAGR	<i>Compounded Annual Growth Rate</i>
CAP	<i>Carrierless Amplitude/Phase</i>
CapEx	<i>Capital Expenditure</i>
CATV	<i>Community Antenna TV</i>
CCSR	<i>Complete Calls Success Rate.</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Acces</i>
CDN	<i>Content Delivery Network</i>
CMT	Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones
Cu_PON	<i>Copper Pasive Optical Network</i>
DNS	<i>Domain Name Server</i>
DOCSIS	<i>Data over cable service interface specification</i>
DPC	<i>Deep Packet Capture</i>
DPI	<i>Deep Packet Inspection</i>
DSLAM	<i>Digital Subscriber Line Access Multiplexer)</i>
DSM	<i>Dynamic Spectrum Management</i>
DSP	<i>Digital Signal Processing</i>
DVB	<i>Digital Video Broadcasting</i>
DVR	<i>Digital Video Recorder</i>
EPON	Ethernet sobre redes ópticas pasivas

ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
FARIMA	procesos ARMA integrados fraccionario
FGN	<i>Fractional Gaussian Noise</i>
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
FTTB	<i>Fiber To The Building</i>
FTTC	<i>Fiber To The Cabinet</i>
FTTH	<i>Fiber To The Home</i>
FTTN	<i>Fiber To The Neighborhood or Node</i>
FUP	<i>Fair Usage Policy</i>
GPON	<i>Gigabit-capable Passive Optical Network</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
HD	<i>High Definition</i>
HDMI	<i>High-Definition Multimedia Interface</i>
HDTV	<i>High Definition TV</i>
HFC	<i>Hybrid Fibre Coaxial</i>
HSDPA	<i>High Speed Downlink Packet Access</i>
HSUPA	<i>High-Speed Uplink Packet Access</i>
HTTP	<i>The Hypertext Transfer Protocol</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
IMS	<i>IP Multimedia Subsystem</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPTV	<i>Internet Protocol Television</i>
ISP	<i>Internet Service Provider</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
LDAP	<i>Lightweight Directory Access Protocol</i>
LRD	<i>Long-Range Dependence</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
M2M	<i>Machine to Machine</i>
MMPP	<i>Markov Modulated Poisson Process</i>
MPLS	<i>Multi Protocol Label Switching</i>
MVNOs	<i>Mobile Virtual Network Operator</i>
NGA	<i>Next Generation Access</i>
NGN	<i>Next Generation Access</i>
OpEx	<i>Operational Expenditure</i>

OSS	Sistema de soporte a las operaciones
OTT	<i>Over The Top</i>
P2P	<i>Peer to Peer</i>
P4P	<i>Proactive network Provider Participation for P2P</i>
PCRF	<i>Policy Charging and Rules Function</i>
PH	<i>Peak Hour</i>
PHB	<i>Per Hop Behaviours</i>
PPV	<i>Pay Per View</i>
PSTN	<i>Public Switched Telephone Network</i>
PVR	<i>Personal Video Recorder</i>
QAM	<i>Quadrature amplitude modulation</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RDSI	Red Digital de Servicios Integrados
RECIBA	Red Experimental de Comunicaciones Integradas de Banda Ancha
RTB	Red Telefónica Básica
RTC	Red Telefónica Conmutada
RTT	<i>Round Trip delay Time</i>
RTVE	radiotelevisión española
SD	<i>Standard Definition</i>
SLA	<i>Service Level Agreement</i>
SRD	<i>Short-Rate dDpendence</i>
SS7	protocolo de señalización número 7
TCP	<i>Transport Control Protocol</i>
TISPAN	<i>Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking</i>
TOS	<i>Type Of Service</i>
TTI	Televisión, Telefonía e Internet
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
VBR	<i>Variable Bit Rate</i>
VDSL	<i>Very high bit-rate Digital Subscriber Line</i>
VLSI	<i>Very Large Scale Integration</i>
VoD	<i>Video on Demand</i>

VoIP	<i>Voice over IP</i>
VPN	<i>Virtual Private Network</i>
WCDMA	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i>
WiFi	<i>Wireless Fidelity</i>
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Acces</i>
WWW	<i>World Wide Web</i>
xDSL	<i>Digital Subscriber Line</i>
xPON	Familia de tecnologías pasive optical network

## AGRADECIMIENTOS

Quería dar las gracias tanto a mi director de proyecto, Tomás Gutiérrez, como a mi tutor Carlos Ramos. Gracias por vuestro gigantesco aporte, apoyo, enseñanzas, paciencia y dedicación. Sin vosotros esto jamás hubiese sido posible.

Gracias también a todas las personas que han aportado su granito de arena para la realización del PFC, con su experiencia y sus ganas de colaborar.

Me gustaría tener un cariñoso recuerdo para quienes me han rodeado, ayudado y animado durante el tiempo en que he sido universitario, y particularmente durante el tiempo en que he realizado y terminado este PFC. Espero que guarden tan buenos recuerdos como yo de este tiempo juntos. A Javi, Emma, Miguel, Álvaro, y Sergi, gracias por vuestra amistad y por hacerme partícipe de vuestras vidas desde el primer día de universidad.

A mis amig@s mas cercan@s, por estar siempre ahí. A Héctor. A Francis.

A Rodri, gracias por nuestras carreras y nuestras charlas.

A mi tío Juanjo, veremos quien paga la paella en Valencia.

A mis hermanos Juanlu y Noe.

A Duna y Thiago, por darme tanto siendo tan pequeños.

Pero sobre todo, gracias a mis padres, Luis y Pilar, por los impagables sacrificios realizados, y por ser como sois. Un millón de gracias.

Mamá, pon el champán a enfriar.



# 1 Introducción

## Descripción del Proyecto

El mundo de las telecomunicaciones evoluciona a gran velocidad, acorde con las necesidades de los usuarios.

Las aplicaciones de Internet están dando un cambio brusco hacia los contenidos multimedia en los últimos años, y el crecimiento exponencial en particular de la “Internet TV” y las Webs de vídeo hacen que nombres como *Youtube* o *Video Google* sea hayan convertido en auténticos referentes en Internet, tan bien conocidos y utilizados por todos que hasta se han instalado ya como parte de la cotidianidad de muchos. Además, el tráfico generado por las aplicaciones P2P y de descarga directa siguen creciendo de forma considerable.

Otro hito importante ha sido el crecimiento del número de servicios a través de las conexiones que actualmente utilizamos para conectarnos a Internet (Ej. IPTV) con elevados requerimientos de ancho de banda, que junto a los servicios de nuevo nacimiento (ej. OTT), se suman a la contribución tanto de aumentar la necesidad de mayores velocidades de conexión de los usuarios como a la implantación de nuevos modelos de calidad de servicio.

Y ya no sólo tenemos que “culpar” a los dispositivos fijos de ser los mayores generadores y demandantes de altas tasas de tráfico: el crecimiento de la popularidad de Tablets y Smartphones, en los últimos tiempos, está siendo tan grande que estos dispositivos móviles se han colocado en el epicentro tecnológico de fabricantes tanto de hardware como de software, para satisfacer las necesidades de movilidad que, junto a los PCs portátiles, demanda una importantísima parte de la población. Tal es el impacto en la sociedad que se están produciendo cambios en los paradigmas de comunicación sociales, y donde aplicaciones como *Whatsapp*, han pasado del anonimato a ser ampliamente conocidas y usadas (supera ya los 250 millones de usuarios activos).

La consecuencia de la suma de estos hechos es que las necesidades de ancho de banda son mucho mayores que las posibilidades ofrecidas por las redes actuales, tanto en las redes de datos fijas como móviles.

Por tanto, surge la necesidad de inversión de las empresas del sector de las telecomunicaciones en las mejoras de la red, aparecen nuevas oportunidades competitivas, siempre bajo la continua búsqueda de ahorro de costes.

Es por todo esto que la “supervivencia” de una operadora de red de datos dentro de un mercado tan cambiante, es un difícil reto. Ha sido necesario, por parte de las mismas, el aprendizaje de las características tanto del tráfico que circula por sus redes como de las características de los usuarios de modo exhaustivo.

En base a este conocimiento adquirido, las operadoras serán capaces de anticipar las nuevas necesidades de los usuarios, y determinarán, condicionado por esto, la inversión a realizar, la implantación de nuevas infraestructuras, nuevos servicios y tecnologías en los diferentes ámbitos de red...que determinarán el futuro de la operadora.

Pasa, por tanto, a ser este conocimiento sobre usuario y tráfico la piedra angular sobre la que se apoyan cualquier operadora:

- Si se realiza un cálculo sobredimensionado de recursos en sus nuevas redes, el gasto estará muy por encima del necesario, reduciendo su capacidad de inversión en otros sectores, y podría entrar en una delicada situación al no ver amortizado el gasto incurrido.
- Si el dimensionado queda por debajo de la demanda, no será capaz de crecer al ritmo de la competencia, quedando desplazada y teniendo que realizar nuevas inversiones no esperadas para intentar volver a su anterior status.
- La inversión en servicios que no sean del todo interesantes para los usuarios podría desplazar a los usuarios de una operadora hacia otras con servicios más atractivos. Así se ocasionaría una pérdida de beneficios que podría producir falta de medios económicos para invertir en nuevas tecnologías y servicios acorde a la demanda de los usuarios.

Las redes de datos de banda ancha (fija y móvil) actuales deben, por lo tanto, experimentar una profunda transformación para conseguir solventar de una forma eficiente los problemas y las necesidades de tráfico, pudiendo así absorber el progresivo incremento del ancho de banda, dejando las puertas abiertas a futuras mejoras. Y para ello las operadoras se nutrirán con la valiosa información de tráfico y usuario que les lleven a tomar las mejores decisiones de cara a que las transformaciones llevadas a cabo cubran exactamente lo que el usuario demanda de la forma más eficiente posible.



**Son, por tanto, los objetivos de este proyecto:**

- El estudio de la evolución histórica que permita comprender el desarrollo que las redes de datos de Banda Ancha han tenido en nuestro país desde su nacimiento, pasando por el momento presente, hasta un futuro a medio plazo. A lo largo de este transcurso temporal, se pretende mostrar, de forma amplia, las tecnologías, redes, crecimiento del tráfico y tendencias de los usuarios, que en su conjunto han modelado este sector.
- El análisis de la previsión que el estado del arte de la banda ancha experimentará durante los próximos años, además de examinar los hechos y consecuencias que originarán la necesidad evolutiva de las redes actuales de telecomunicación, y destacar el papel principal que desempeña el vídeo como palanca de cambio.
- La descripción en detalle de las características del tráfico de datos (fijo y móvil) y de los usuarios, junto a su evolución prevista, además de examinar la calidad de servicio y los indicadores clave de rendimiento que gestionan las operadoras, basados en toda esta información que poseen.



## 2 Evolución histórica de la Banda Ancha en España

La Banda Ancha en España es el resultado de la evolución de más de una década, en la que el sector de las telecomunicaciones ha realizado una completa transformación de este negocio. Durante estos años se ha trabajado intensamente para cubrir las necesidades de la sociedad, tanto a nivel doméstico como empresarial.

El desarrollo de las tecnologías xDSL (*Digital Subscriber Line* o Línea de Abonado Digital) y su implantación en la red de acceso a Internet para proporcionar servicios de banda ancha, principalmente servicios de acceso a Internet y de vídeo, ha sido y es sin duda un caso de éxito de la tecnología e ingeniería de las telecomunicaciones en los últimos años en todos los países del mundo y, por supuesto en España, de la mano de Telefónica, principalmente.

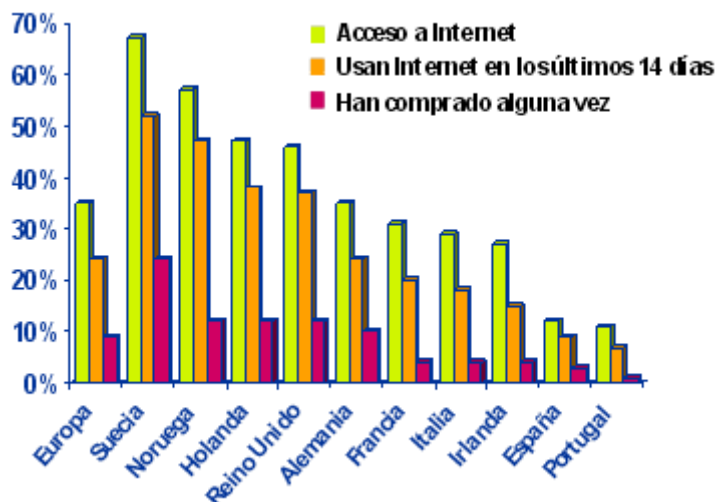
Este importante éxito es compartido con la tecnología HFC (*Hybrid Fibre Coaxial* o Híbrido de Fibra y Coaxial, comúnmente denominada “cable”), que acompañada de fuertes inversiones ha sido capaz de hacer frente al xDSL en nuestro país, en el acceso a los servicios de banda ancha, y cuyo despliegue a nivel mundial es altamente significativo.

### 2.1 Nacimiento del Cable en España

A mitad de los años 90 comienza a producirse una penetración notable de Internet en el sector de las telecomunicaciones en España. Empiezan a ser oídas compañías como Netscape, Yahoo, Hotmail,... que van perfilando lentamente la Sociedad de la Información. En este proceso se va produciendo un crecimiento sostenido de los usuarios que utilizan la red de redes, Internet.

Sin embargo, a pesar de este palpable auge, el desarrollo de Internet en España dista mucho del alcanzado en otros países del marco europeo, y en el año 2000 tan sólo un 12,4% de la población es usuaria de Internet y a nivel empresarial la cifra de compañías con página Web alcanza el 16%, como se muestra en la figura1.

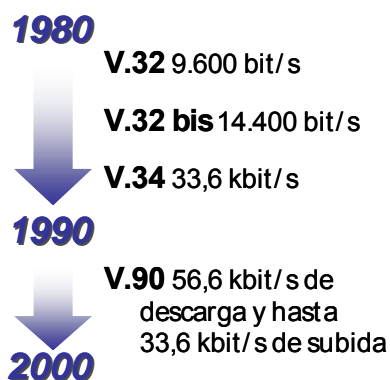
A pesar de esto, las expectativas de crecimiento económico son buenas, existiendo una demanda ascendente, tanto a nivel de empresa como de particulares: era necesaria la estimulación de este sector para alinearse con los países másaventajados.



**Figura 1. Uso de Internet en Europa (1999)**  
Obtenida de [5]

Pero la red de acceso a Internet existente no permitía la evolución necesaria. La más extendida, la red telefónica fija, utiliza pares de hilos de cobre para conectar los hogares con las centrales telefónicas. Existía una amplia cobertura, con una penetración de 41,81 líneas por 100 habitantes y más de 16 millones de líneas, gracias a que el servicio de telefonía era el eje de las telecomunicaciones, y el acceso a Internet de Banda Estrecha (a través de la RTC) predominaba mayoritariamente, ante la imposibilidad de los usuarios de elegir otra opción. La tecnología utilizada en los modems telefónicos de banda vocal no superaba los 64 kbit/s. Además, otro gran problema era la congestión que provocaba el servicio de Internet en la red telefónica (centrales de conmutación y enlaces entre ellas), diseñada de acuerdo con patrones de uso de voz (llamadas de 3 minutos), pero no para los patrones de acceso a Internet con llamadas de 15 minutos de promedio (duración media en 1996).

En la figura 2 se muestra una evolución de las velocidades de los modems telefónicos.



**Figura 2. Velocidad de los modems telefónicos**  
**Propiedad de Telefónica SA**

Por otra parte, surgieron tanto a nivel europeo como estatal diferentes programas que promovían la banda ancha, como el proyecto RECIBA (Red Experimental de Comunicaciones Integradas de Banda Ancha) implementado por Telefónica I+D en 1991. Esta red surgía como evolución de la RDSI (Red Digital de Servicios Integrados), tecnología que usó de palanca para dar el salto a su versión de Banda Ancha y que dio lugar a la tecnología de transmisión ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), cuando se percibía la imposibilidad de que RDSI transmitiese contenidos de vídeo.

Así, HFC, Fibra+Coaxial, fue la opción tecnológica elegida para el despliegue de una red de acceso mucho más moderna de altas capacidades, preparada por sus altas prestaciones como medio de transmisión digital para ofrecer novedosos servicios y nuevas capacidades de Banda Ancha (hasta 100 veces la de las líneas telefónicas), ya que fue diseñada para el transporte masivo de datos, y sin olvidar su capacidad para integrar servicios TTI (Televisión, Telefonía e Internet). Además, una red alternativa que supone que la red de acceso no continúa bajo el control del operador ya establecido aseguraba una mayor competencia sostenida en el tiempo, tanto en redes como en precios, en innovación y en nuevos servicios.

La robustez, la seguridad, la resistencia frente a interferencias y la no compartición del espectro con otros operadores, junto a su gran escalabilidad, que permite aumentar la capacidad ofrecida al usuario según crezca la demanda de ancho de banda, son las más importante ventajas de las redes implementadas con este tipo de tecnología.

Los orígenes de esta tecnología se remontan a mediados del siglo XX, cuando en EEUU empezó a desplegarse una tecnología que permitiría mejorar la recepción de los canales de TV a los usuarios, llevando la señal mediante cable coaxial desde antenas situadas en lugares elevados, como colinas o montañas, hasta las comunidades de vecinos, por lo que se le denominó CATV (*community antenna TV*).

En poco más de una década esta tecnología ya tenía más de 850000 usuarios, y continuó su evolución tras la desregulación de la industria del cable en 1972 (posteriormente sería desregulada totalmente esta industria, en 1984, con la *Cable Act* estadounidense), con la sustitución de las antenas convencionales por parabólicas, ya que comenzó la distribución de los canales de TV vía satélite, incorporando canales internacionales, temáticos y de películas, junto a nuevos servicios como los canales de suscripción, el vídeo bajo

demanda(VoD) o el pago por visión (pay per view), realizándose vía línea telefónica la señalización necesaria hasta el proveedor.

El incesante crecimiento del número de canales agotó el límite del ancho de banda que es capaz de soportar el coaxial, y a principio de los 90 entró en escena la tecnología óptica para resolver dicha limitación. Así, las redes HFC no sólo mejoraban con creces el ancho de banda de sus predecesoras, sino que introdujeron el transporte de señales bidireccionales, pasando a ser sistemas de telecomunicaciones completos y no tan sólo sistemas de distribución. Se perfilaba así una red lista para dar soporte a servicios interactivos de voz y datos con grandes necesidades de ancho de banda.

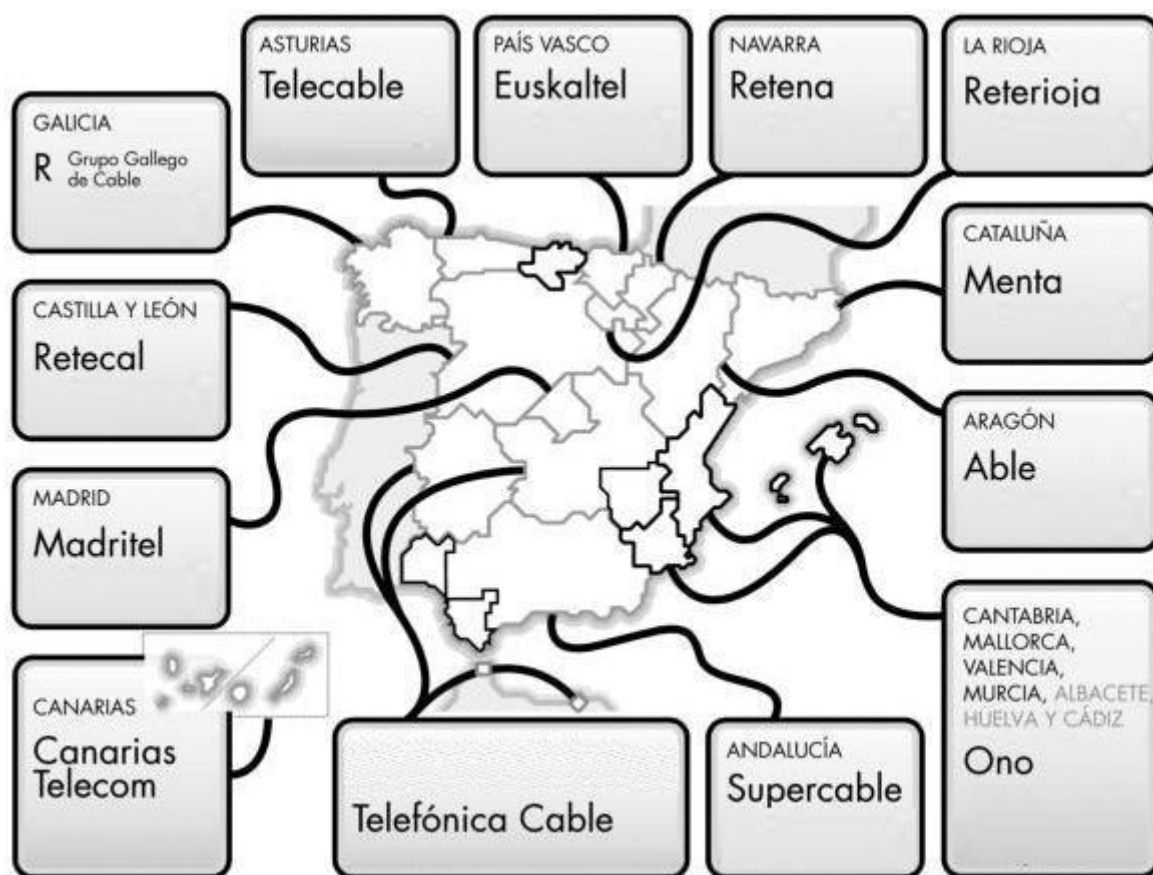
Otro importante hito evolutivo se dio a mitad de los 90, con la introducción de la TV digital, que permitió multiplicar el número de canales transportados en el ancho de banda, propiciando un aumento de calidad tanto de la imagen como del sonido, junto a la introducción de nuevas facilidades.

Sin embargo, en Europa la situación del cable fue bien distinta, ya que el mercado de las telecomunicaciones se encontraba fuertemente regulado, lo que supuso un obstáculo muy importante para las enormes inversiones requeridas de capital privado. Tan sólo en algunos países como Holanda o Reino Unido se desplegaron importantes infraestructuras de redes HFC debido a sus altas tasas de penetración de la televisión por cable.

Y a pesar del reclamo efectuado en 1992 por la Unión Europea para liberalizar las telecomunicaciones, los sucesivos gobiernos en nuestro país no determinaron, finalmente, hasta el año 1995, la aprobación de la Ley 42/1995, de 22 de diciembre, de Telecomunicaciones por Cable (derogada por la Ley 32/2003, de 3 de noviembre, General de Telecomunicaciones) [13]. Dicha ley regulaba el servicio de telecomunicaciones por cable incorporando el contenido de la Directiva de la Comisión Europea 95/91/CE, de 18 de octubre, respecto a la supresión de limitación en el empleo de las redes de televisión por cable para la prestación de servicios de telecomunicaciones, ya que debido a la evolución tecnológica, las redes que en otros países se habían construido para la difusión de canales de televisión habían evolucionado a redes multiservicio, mediante las que se prestaban también servicios de telefonía básica y de transmisión de datos. Se establecía que en cada demarcación territorial, 43 en total, no sería posible la coexistencia de más de una operadora de HFC, junto a Telefónica de España, la cual quedaba completamente autorizada para la prestación de este servicio de BA en cualquiera de las demarcaciones territoriales. Los concursos públicos para la prestación de servicios dieron lugar a las

operadoras de cable ONO, Euskaltel, Madritel, Menta, Supercable...hasta un total de 12, a parte de Telefónica Cable, como se muestra en la figura 3..

Posteriormente, entre 2001 y 2004, se produciría un proceso de agrupación de las operadoras, en el que gran parte de los mismos pasan a formar parte del grupo Auna Cable y su posterior absorción por parte de ONO en 2005, convirtiéndose en la empresa más importante del sector en España.



**Figura 3. Operadores de Cable iniciales en España**

**Elaboración propia**

Nació así el Cable en España, con la visión general de que lo hacía con un apreciable retraso y en un momento especialmente delicado de las Telecomunicaciones, debido a los procesos de liberalización en curso, ya que Ley de Liberalización de las Telecomunicaciones se promulgó en 1997.

Por otra parte, los elevados costes de despliegue de esta infraestructura, la reiterada negación de los permisos de obra junto con la crisis económica del sector propiciaron

todavía más la lentitud de su desarrollo; en 1999 sólo el 10% de los hogares estaban pasados por cable, suponiendo un elevado plazo de tiempo para su explotación.

## 2.2 Aparición del ADSL

Telefónica se posiciona inicialmente, por tanto, en redes híbridas HFC y despliega Redes de Fibra Óptica sin llegar a instalar completamente el último tramo de cable coaxial; aún así, esta compañía realizó un despliegue de una magnitud considerable de coaxial, llegando casi al millón y medio de km. Pero esta tecnología no llegó a ver la luz por el cambio que supuso la aparición de una tecnología realmente óptima desde el punto de vista de esta compañía: el ADSL (*Asimetric Digital Subscriber Line* o Línea de Abonado Digital Asimétrica). Los técnicos de Telefónica descubrieron el enorme potencial que tenía el par trenzado de cobre y finalmente se optó desde la dirección de la compañía por un cambio en el rumbo estratégico para el desarrollo y despliegue de la banda ancha en España. Vieron totalmente innecesario malgastar esfuerzos con la tecnología HFC cuando prácticamente con la infraestructura del cableado convencional ya presente se puede alcanzar la misma meta, sin la necesidad de realizar inmensas inversiones. La comparativa daba un absoluto vencedor, de modo que los ingenieros se pusieron manos a la obra con ADSL.

Estas tecnologías xDSL, desarrolladas por los laboratorios Bell en 1988, situaban el espectro de la señal de datos por encima del espectro de la banda vocal, 3,4 KHz, llegando hasta unos 4 MHz, de manera que con un simple filtro se separaban ambos servicios: el telefónico y el de datos. Los primeros estándares ADSL permitían velocidades de bajada máxima (enlace descendente, de red a usuario) de 8 Mbit/s para distancias de hasta 2 km de la central, quedando lejos de los últimos estándares, como el ADSL 2+, que permiten velocidades de hasta 24 Mbit/s en función de la distancia a la central. El éxito comercial del ADSL refleja también el avance de la tecnología electrónica, como el de los procesadores digitales de señal, DSP (*Digital Signal Processing*), y una mayor integración de funciones en los circuitos integrados, VLSI (*Very Large Scale Integration*).

Así, a finales de la década de los 90 se produjo la aparición de las tecnologías xDSL (*Digital Subscriber Line* o Línea de Abonado Digital) que en los años siguientes se convertiría en la herramienta al alcance de operadoras y abonados que permitiría el enorme auge de la banda ancha.



Las tecnologías xDSL aportaban una serie de ventajas por aquel momento novedosas, si bien, dichas ventajas se han convertido actualmente en características tanto esenciales como exigibles en cualquier tecnología de BA:

- Reutilizaba la infraestructura ya existente, tanto a nivel de canalización como de hilos de cobre, de modo que no era necesario una ampliación de la red de acceso por estar ya muy extendida.
- Toleraba la simultaneidad del servicio de telefonía junto con servicio de acceso de datos, frente a la imposibilidad de mantener el servicio de voz cuando en la conexión de banda estrecha era establecida.
- Evitaba que el tráfico de datos viajase por toda la red RTB, ya que al término de la red de acceso, el tráfico de datos se encamina hacia su propia red, evitando colapsar la RTB por no estar concebida en su dimensionamiento para servicio de datos.
- Con este servicio se producía un importante cambio en el paradigma de la tarificación, ya que por primera vez la factura no dependía ni de la intensidad o duración de su uso, a diferencia de la banda estrecha, que en sus inicios tarificaba por tiempo de conexión, como si de una llamada metropolitana se tratase. Los términos “tarifa plana” y “*always on*”, siempre conectado, usualmente asociados, hacían referencia a esta dualidad funcional y económica que posibilitaba a cualquier usuario la conexión permanente a Internet.

Desde entonces, la evolución tecnológica y de los estándares sobre el ADSL ha sido continua, permitiendo una mejora sustancial de las prestaciones, a cambio de cierto aumento en la dificultad en el despliegue para garantizar la compatibilidad de diversas versiones funcionando sobre pares de cobre anexos.

Afortunadamente, los primeros despliegues ya se efectuaron en 1999 con una clara versión ADSL vencedora: la denominada DMT (*Discrete Multitone*), adoptada por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones o ITU en inglés) en su Recomendación G.992.1. Otras posibilidades existentes, como la llamada CAP (Carrierless Amplitude/Phase), cedieron ante el empuje del DMT y acabaron por ser soterradas, para evitar la estandarización internacional de diferentes versiones, lo cual hubiera supuesto una problemática operativa y económica añadida.

En una primera etapa, era necesaria la instalación de filtros a la entrada del par de cobre en el domicilio para poder dividir los tráficos de voz y datos en este medio compartido. Esto se traducía por la necesidad de realizar una nueva instalación de cable de cobre sobrespuesto a la instalación ya existente en el domicilio del usuario hasta el modem, dado que no era posible que la señal del tráfico de datos y la de voz compartiesen el mismo cable.

Pero pronto, una nueva versión del estándar, el “ADSL Lite” (G.992.2) fue capaz de resolver la necesidad de sobreponer cobre al ya existente (a cambio de una pequeña disminución de la potencia de señal), apareciendo así el filtrado distribuido, es decir, pequeños filtros (*splitters*) que se encargarían de hacer la separación de ambas señales en la roseta donde cada teléfono iba conectado. Nació así el concepto del ADSL “autoinstalable” (2003).

Por tanto, tras el cambio de estrategia tecnológica, Telefónica mantuvo unas difíciles negociaciones con el organismo regulador de las telecomunicaciones, la CMT (Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones), consiguiendo de esta forma frenar del todo su despliegue de cable, y por tanto su red HFC proyectada, y remplazarlo por el ADSL, un sistema cuya inversión era ínfima en comparación con la que suponía el cable. Una vez que el regulador consiguió que imperara la neutralidad tecnológica, a cambio de exigentes compromisos en el desarrollo de la banda ancha a través de su ADSL, la compañía dejó de realizar obras de canalización en las calles, al menos a medio plazo.

El origen regulatorio y administrativo de la implantación de la tecnología ADSL (Línea de Abonado Digital Asimétrica) en la red fija telefónica es la Orden 8181 del BOE (boletín oficial del estado) de 26 de marzo de 1999, que establecía una primera fase en el período comprendido entre 1999 y 2000, con unas expectativas de cobertura del 61 por 100 de las líneas de la red telefónica.

### **2.3 Banda Ancha: de los inicios al primer millón de clientes.**

La implantación del servicio de acceso a Internet mediante tecnología ADSL sufrió numerosos problemas y retrasos en 1999, lo que se tradujo en un número insignificante de abonados a este tipo de servicio. Desde que se publicase la Orden en el BOE en marzo hasta el 31 de diciembre de 1999, ni siquiera la cifra de abonados llegaba a 700, cuando la previsión de provisionado de servicio a fin de año fue de 4.5 millones.

Pero en el año 2000 la situación sufrió un cambio radical, y el crecimiento de los usuarios de ADSL se disparó, con un crecimiento trepidante.

Para poder conseguir desde el primer momento absorber la enorme demanda de la sociedad, Telefónica vio la necesidad de realizar un gran esfuerzo en la evolución de su red a la tecnología estrella de la nueva banda ancha, el ADSL: adaptación de los bucles de cobre para la transmisión ADSL (pupinización, calibre, red de dispersión, readaptación de ciertos servicios como hilo musical, ...), equipamiento en los puntos de acceso de las centrales, construcción de una Red específica para la concentración (con tecnología ATM) y transporte (con tecnología IP) del nuevo tráfico de acceso a Internet, nuevos servicios y contenidos de Banda Ancha,... convirtiéndose de esta forma en el pionero en nuestro país y principal impulsor de la Banda Ancha a través de esta tecnología.

A nivel normativo también hubo una serie de cambios, como el acceso al servicio mayorista:

- La desagregación del bucle de abonado vino dada mediante la publicación por parte del Ministerio de Fomento en marzo de 1999 [46]. Esta desagregación era inevitable, ya que para poder entrar a este nicho de mercado, era necesario que las operadoras incumbentes pudiesen acceder al bucle de abonado, porque, ¿para qué iban a realizar nuevas canalizaciones en lugares donde dicha canalización ya estaba hecha? Por tanto, esta desagregación obligaba al operador dominante a permitir que los nuevos operadores usasen dicho bucle, bajo unas condiciones de competencia justas en lo comercial, en lo operativo y en lo económico, sin imposiciones arancelarias o cláusulas abusivas e injustas.
- En el Real Decreto del año 2000 [3] se fue matizando el reglamento mediante el cual se establecían las cláusulas de las operadoras dominantes para el acceso a la red de acceso de la red de telefonía fija de carácter público. Dicho decreto disponía el acceso para cualquier operador en condiciones de total transparencia, equitativas y no discriminatorias mediante esta oferta de acceso. De esta manera, el 20 de enero de 2001 Telefónica publicó en su página Web la primera Oferta de acceso al Bucle de Abonado, conocida por sus siglas OBA.

Este modelo español sirvió a modo de arquetipo para la implantación de modelos similares en países de la actual Unión Europea en los que la tecnologías xDSL fueron introducidas.

Sin embargo, a pesar de los cambios introducidos en la legislación, este proceso se reveló, no sólo en España sino en el resto de la Unión Europea, como un proceso lento y complicado, en el que también impactó la crisis financiera del sector.

Por su parte, las operadoras de cable comenzaron a ofrecer sus servicios *Triple Play* en 1999, año en el que a su término contaba con cerca de 15000 abonados de Internet de BA, por lo que sin lugar a dudas comenzaba con buen pie, acaparando prácticamente todo el mercado de la banda ancha fija debido a los grandes problemas en la prestación del servicio que arrastraba el ADSL.

No obstante, era cuestión de tiempo, poco tiempo, que el ADSL revirtiera esta situación inicial, ya que contaba con un altísimo número de accesos ya desplegados, “legados” de la red fija de telefonía, que se extendían por todo el país, frente al incipiente número de accesos del cable, que iban creciendo según se iba desplegando su red. Por tanto, la captación de clientes de las tecnologías de cable dependía del desarrollo del despliegue de su red y no tanto de su oferta comercial, por lo que este crecimiento interanual, a pesar de ser muy positivo, se daría de una forma mucho más moderada que en el ADSL.

Sólo hubo que esperar un año, hasta el 2000, para que el ADSL tomara ventaja frente al cable en número de abonados de BA fija, y es que aunque en este período las operadoras de cable multiplicaron por dos su número de clientes, el ADSL, una vez solventados sus problemas de prestación de servicio, experimentó un enorme despegue que le situó a finales de ese año con casi tres cuartas partes del total de clientes de BA del país.

Este auge de la BA siguió su progreso en 2001, acercándose al medio millón de abonados.

A finales de 2002, España comenzaba a ser un país de Banda Ancha, con una cobertura del 90% de hogares, con más de un millón de clientes y con un 16% de los internautas utilizando la Banda Ancha.

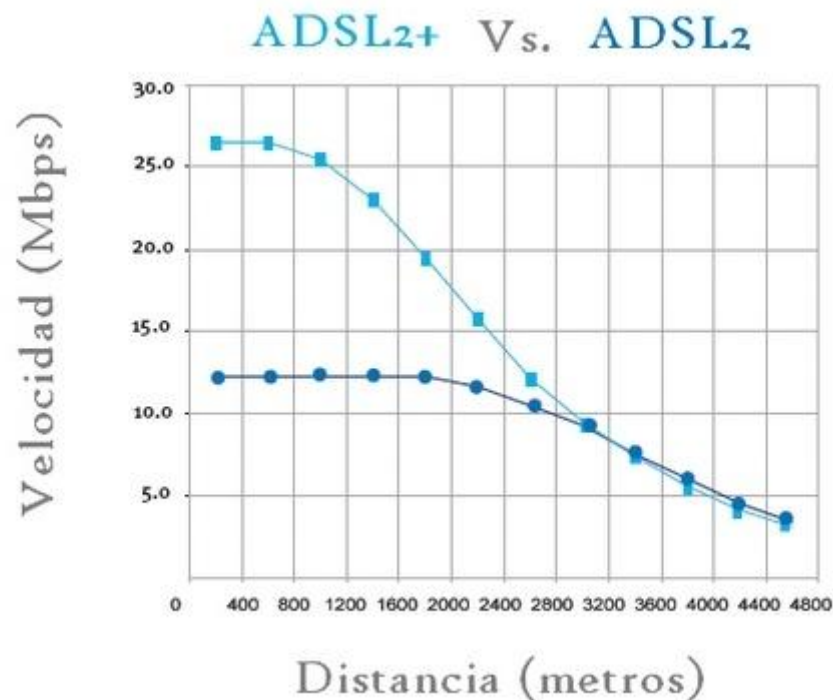
## **2.4 Masificación de la Banda Ancha. Hacia los 10 millones**

En el aspecto tecnológico, indicar que se fueron introduciendo nuevas versiones del ADSL original, que ofrecía:

- un incremento de la velocidad binaria. ADSL 2 (G.992.3/5) que permite hasta 12 Mbit/s de bajada y 1 Mbit/s de subida; y ADSL2+ (G.992.5), que permite hasta 24 Mbit/s de bajada y 1,2 Mbit/s de subida.

- un alargamiento de la longitud máxima del bucle, siempre fuertemente condicionado por la distancia entre la central y la residencia del abonado, debido a la atenuación que se produce de la señal en el medio de transmisión, en este caso, el par de cobre.

En la figura 4 se muestra una gráfica comparativa del ancho de banda disponible entre ADSL2 y ADSL2+ en relación a la distancia de la central.



**Figura 4. Atenuación del Ancho de Banda del ADSL2 y ADSL2+  
Obtenida de [14]**

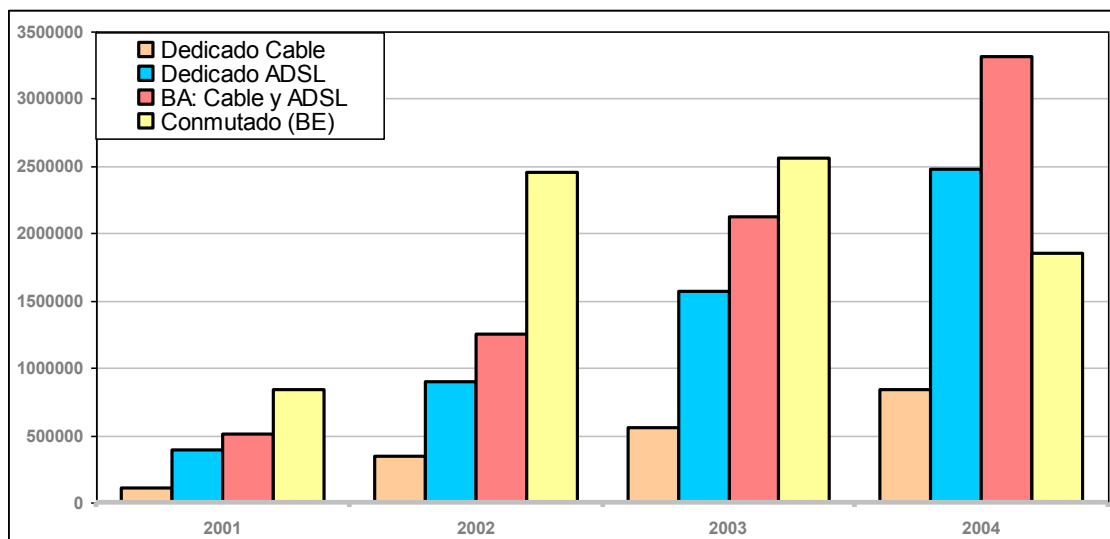
El cable continuó ofreciendo, por un lado, su BA mediante el protocolo DOCSIS 1.1, con una velocidad de bajada teórica máxima de 38 Mbit/s y por otro, mediante su estándar DVB-Cs servicios de TV Digital, con capacidad de más de 200 canales, VoD (servicio de “videoclub denominado OJO), PPV (Pay Per View, o pago por visión) y capacidades futuras de HDTV.

Si bien la tecnología WiFi (Wireless Fidelity) es usada para la red del hogar y no para la red de acceso, su aparición a gran escala en el año 2004 en nuestro país ha servido de acicate para la popularización de las tecnologías ADSL y HFC. La conexión en cualquier punto del hogar de PCs portátiles (y de sobremesa, si bien estos no suelen cambiar su

ubicación con frecuencia, tienen la posibilidad de hacerlo sin perder la conexión a Internet) sin necesidad del uso de instalaciones o latiguillos de red, fue sin duda un boom entre los usuarios. De hecho, si nos remitimos al gran crecimiento de la BA móvil en los últimos años y al uso de tablets y smartphones en el hogar, esta tecnología se ha convertido en pieza indispensable para la mayoría de los usuarios.

Por otra parte, España ocupaba en 2003 el primer puesto de Europa, con más de un 25%, en penetración de conexiones ADSL en hogares con Internet. También, En 2003 el ADSL supone más del 75% de las líneas de Banda Ancha en funcionamiento.

A finales de 2003, las líneas ADSL superan el millón y medio y el Cable el medio millón, desplazando definitivamente el acceso a través de la Banda Estrecha, que toca techo este mismo año, comenzado una desaceleración importarte, viéndose superada a principios de 2004 por el ADSL. La BE seguiría perdiendo adeptos a un ritmo interanual cercano al 35% ante la imposibilidad de competir con las bondades de la BA, hasta convertirse en un servicio residual con valores relativos de uso meramente anecdóticos. Y es que pasó de ser la tecnología predilecta por los internautas a ver que tan sólo una de cada diez conexiones a Internet se realizan de este modo en 2006 (en 2010 apenas cien mil líneas, su porcentaje de uso baja al 1%), siendo así “desterrada” la tecnología que permitió a los españoles un primer acercamiento del mundo de Internet y sus posibilidades.

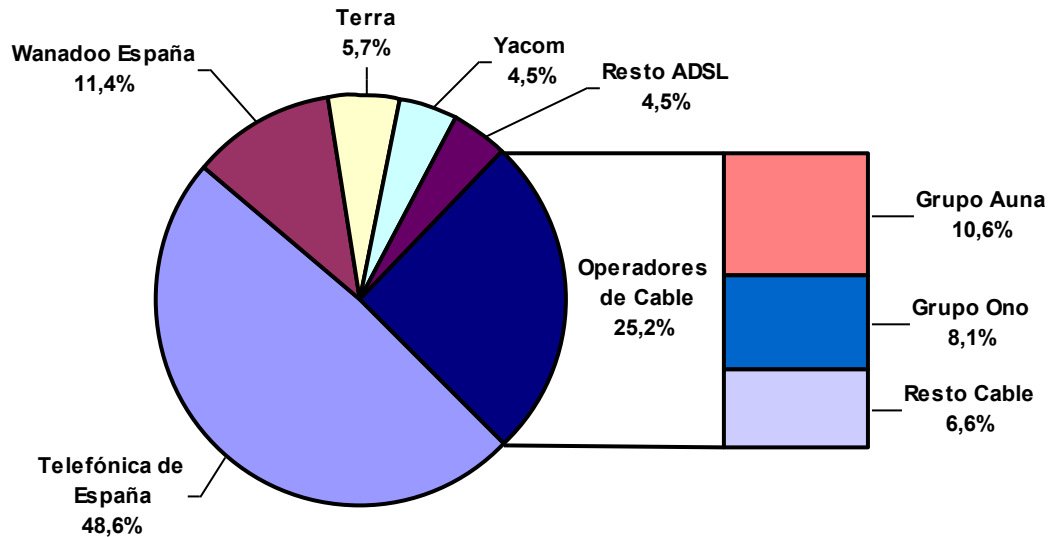


**Figura 5. Evolución del número de accesos por tecnología 2001-2004**

**Elaboración propia a partir de [6] y [7]**

A finales de 2004 la Banda Ancha alcanza los 3,3 millones de líneas, con un mapa multi-tecnología (cable HFC y línea ADSL) y multi-operador, donde Telefónica sigue siendo el

operador dominante, situándose con casi la mitad de la totalidad de líneas de BA, a pesar del fuerte empuje de las operadoras de ADSL de acceso desagregado durante este período, y sin dejar atrás tampoco el continuado avance de las operadoras de cable.



**Figura 6. Distribución de accesos por tecnología y operador**  
**Elaboración propia a partir de [7]**

En este período se produce el lanzamiento de nuevos productos y servicios de valor añadido, en el que cabe destacar el servicio Imagenio de Telefónica en 2004, ya que se trata del primer servicio de televisión digital lanzado por una operadora xDSL. Su desarrollo, que ofrece servicios de difusión de televisión, audio y vídeo bajo demanda en los hogares sobre tecnología ADSL, constituye, por un lado, la evolución natural del negocio de Telefónica y un paso muy importante para una compañía prestataria de servicios de voz que busca convertirse en una operadora multiservicio que cubra todas las necesidades del usuario en servicios de telecomunicaciones, y de esta forma, competir con las operadoras de cable, que ofrecen servicios Triple Play desde sus inicios.

Realmente es en 2005 cuando el servicio de IPTV de Telefónica despegó comercialmente, contando además con gran acogida en cuanto a número de abonados, con más de 200000 a finales de año. Este proceso será seguido por otros operadores de ADSL, y sólo unos meses después, en diciembre de ese mismo año, ve la luz jazztelia, la IPTV de Jazztel. El anuncio para 2006 de ofertas comerciales de este servicio por parte de Wanadoo Grupalia y YA.com pone de manifiesto el desarrollo de este servicio por parte de las operadoras alternativas a las plataformas clásicas de pago.

Desde el punto de vista comercial, la aparición de estos nuevos servicios coincide con el empaquetamiento de éstos en ofertas comerciales atractivas por parte de las operadoras de ADSL; dobles, por un lado con la BA como servicio central y la voz complementándolo, generalmente con tarifa plana nacional para llamadas telefónicas; y por otro lado con IPTV complementado también con los mismos servicios telefónicos de voz. Finalmente, las ofertas triples, aunaban los tres servicios. Con estas novedades comerciales, junto con el aumento generalizado de las velocidades de conexión de BA, comenzaba una fase en la que la competencia entre operadores de cable y de ADSL sufría una diferenciación en la oferta de servicios prácticamente nula.

El aumento de velocidad producido en las líneas de BA en 2005 no fue un hecho aislado, sino un hecho progresivo dado desde la aparición de la banda ancha, fomentado tanto por la demanda de los usuarios como por la competencia entre operadores, que en momentos puntuales, hasta llegaron a doblar la velocidad de sus clientes sin aumento de precio en el servicio. En la figura 5 podemos apreciar el aumento de las velocidades de conexión con mayor éxito comercial (las que mayor número de abonados tenían contratadas) a través del paso de los años aproximadamente (ONO no ofertaba 10, sino 12 Mbit/s), desde la aparición de la banda ancha, donde sólo prestaban servicio las compañías de cable, hasta el final del primera década del S.XXI, donde la velocidad se ha multiplicado por 40.



**Figura 7. Aumento progresivo de la velocidad de acceso**  
Obtenida de [5]

Por otro lado, en 2007 Jazztel lanzó el primer servicio de BA de “hasta 20 Mbit/s” mediante la tecnología ADSL2+, seguido al poco tiempo por otros operadores alternativos. Si bien no se puede afirmar que sus abonados alcanzasen estas velocidades “de laboratorio”, sí que un grupo significativo de los mismos recibía del orden de los 14



Mbit/s, popularizándose tanto esta oferta, principalmente entre los usuarios de BA de las operadoras ADSL alternativos, como Orange o Ya.com, que en 2010 superaron el millón de abonados.

Telefónica, en 2009, comenzó a evolucionar hacia el VDSL, una nueva tecnología que proporciona mejores prestaciones sobre la red de cobre, incrementando significativamente la velocidad de conexión a Internet junto a la mejora que permite de la calidad de los servicios de televisión IP, con la posibilidad de transportar canales en HD, con unos máximos teóricos de 52 Mbit/s de bajada y 6Mbit/s de subida. Comercializó servicios de BA de 30Mbit/s, con muy baja aceptación, ya que la gran dependencia de la velocidad percibida en casa del usuario con su distancia hasta la central permitía mantener su gran rendimiento tan sólo 300m, bajando hasta los 26Mbit/s hasta el primer kilómetro. Con 13Mbit/s hasta una distancia de 1,5km, no mejoraba los resultados del ADSL2+, cuando el precio por el servicio era mucho más elevado, por lo que Telefónica abandonó temporalmente su comercialización.

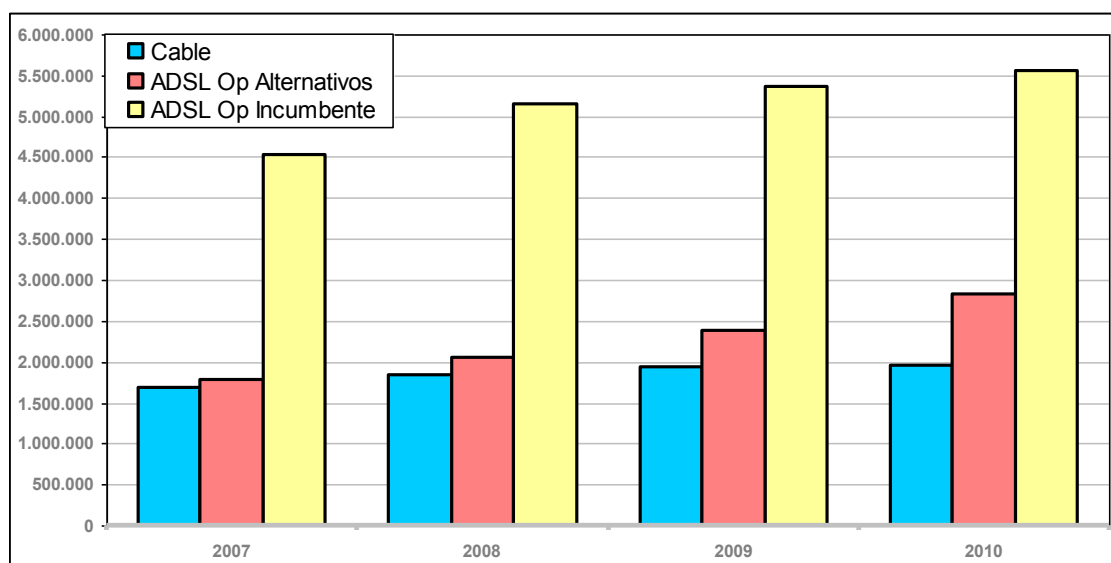
Las operadoras de cable ni mucho menos se quedaron atrás e introdujeron una gran evolución tecnológica, DOCSIS 3.0, capacitada para soportar conexiones con grandes caudales de datos, desconocidos hasta ahora en España, de hasta 160 Mbit/s de bajada por usuario (eso si, utilizando varios canales simultáneamente para el mismo usuario, lo que reduciría su cobertura). A finales de 2008 ONO comenzó a ofrecer los primeros productos comerciales, todavía con poca cobertura (con tan sólo 10 nodos en Madrid), donde se ofertaban conexiones de BA de 50 y de 100 Mbit/s. R también lanzó poco después sus primeras ofertas con DOCSIS 3.0 de 30 y 100 Mbit/s.; se pudo constatar que estas velocidades eran reales debido a que esta tecnología no depende tanto de la distancia entre la central y la residencia del usuario, cuya atenuación es mucho menor que la sufrida por las tecnologías xDSL. Posteriormente se han ido extendiendo estas ofertas por el resto del país, a medida que la tecnología de las operadoras de cable ha estado lista.

La mayor parte de la cuota de mercado BAF se la llevaba Telefónica, de modo que esta situación obligaba a su competidores a mejorar su oferta si querían una parte del pastel. Tanto operadoras de cable como de ADSL alternativos tienen una tasa de velocidad media contratada de BA bastante superior a las del operador incumbente, siendo éstos los que con más fuerza han estado “empujando” la innovación. Concretamente, en 2009 Telefónica tan sólo tenía el 1,5% de las conexiones de BA superiores a 10 Mbit/s, las

operadoras de cable más de una cuarta parte y todo lo demás pertenecía a las operadoras de ADSL alternativas.

El siguiente hito tecnológico que permite dar un enorme salto en la velocidad de la BA, junto a nuevos servicios asociados parece ser la fibra hasta el hogar o FTTH, cuya primera y tímida aparición comercial viene de la mano de Telefónica, permitiéndole estar a la vanguardia tecnológica. En 2009 comenzó a realizar los primeros test comerciales de esta nueva tecnología, con un servicio de BA de 50 Mbit/s, y ya para finales de 2010 contaba con casi 50000 abonados, contando todavía con escasa cobertura del territorio nacional.

Todas estas novedades, tanto tecnológicas como comerciales, han permitido mantener un buen ritmo de crecimiento de la BA en nuestro país durante la última parte de la década, si bien con valores más moderados que los registrados hasta pasada la mitad de la misma, sobre todo en el sector del cable, registrando el mayor crecimiento las operadoras ADSL alternativas. Esta tendencia de moderación en el crecimiento muestra la madurez hacia la que este sector se va encaminando, refrendado por este significativo dato: en marzo de 2010 el número de líneas de acceso a Internet de BA superó la cifra de 10 millones.,



**Figura 8. Evolución de los accesos por tecnología 2007-2010**

**Elaboración propia a partir de [8] y [9]**

## 2.5 La Nueva Banda Ancha

A pesar del enorme desarrollo de la BA Fija (BAF) durante esta última década, no se puede afirmar que cubra todas las necesidades de los internautas, ya que, hoy en día, los clientes demandan acceso multi-dispositivo y desde cualquier lugar, a todo tipo de

contenidos y servicios; lo que obliga a cambiar continuamente el modo en el que se les proporciona conectividad, motivo por el que la BA Móvil (BAM) ha cobrado una enorme importancia en los últimos años.



**Figura 9. Movilidad demandada en 2010 por los usuarios.**

Elaboración propia

**Figura 10. Ancho de Banda móvil demandado en 2010**

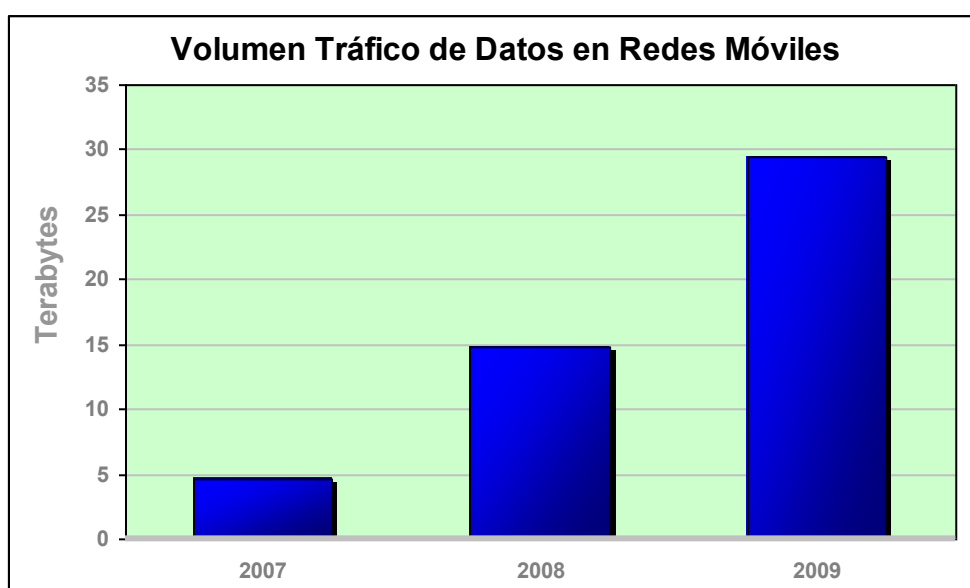
. Obtenida de [5]

Ya quedan lejos, por el año 2005, los primeros despliegues en España de los servicios UMTS de tercera generación que dieron lugar a los primeros servicios de acceso a Internet en movilidad de BA de hasta 300 Kbit/s teóricos (que en la práctica era bastante menos), aún con mucha capacidad de mejora en cuanto a ancho de banda y cobertura.

Las operadoras móviles continuaron invirtiendo año tras año tanto en el despliegue de redes 3G, instalando nuevas estaciones base de UMTS, como en el despliegue de cobertura con el estándar HSDPA, que posibilitó una mayor velocidad que UMTS (concretamente su interfaz aérea WCDMA) en la descarga de datos, y además realizaron pruebas para el lanzamiento comercial de servicios de televisión en los terminales móviles.

La comercialización por parte de los principales operadores de tarjetas de red UMTS/HSDPA, cuya finalidad es conectar ordenadores personales a Internet a través de la red móvil (*datacards*), se inició en 2006, con gran aceptación por los usuarios, lo que le ha llevado a tener un crecimiento interanual muy importante, llegando, a finales de 2009, casi

a los dos millones de abonados. Los usuarios que usan su propio terminal para conectarse a la BAM también han ido aumentando hasta los 2,8 millones registrados ese mismo año. Gran parte de este éxito, que eleva el conjunto de líneas vinculadas a tarifas dedicadas exclusivamente al acceso a Internet a través de una red móvil a 4,7 millones, se debe a la amplia cobertura alcanzada por las redes 3G (UMTS/HSDPA) en todo el territorio nacional, y en especial, se debe a la gran variedad en el tipo de tarifas ofrecidas por las operadoras móviles a los usuarios, en cuanto a duración, limitaciones de descarga y servicios a los que pueden acceder. A su vez, este éxito comercial se traduce en un importante y progresivo aumento del volumen del tráfico de datos registrado en las redes móviles.

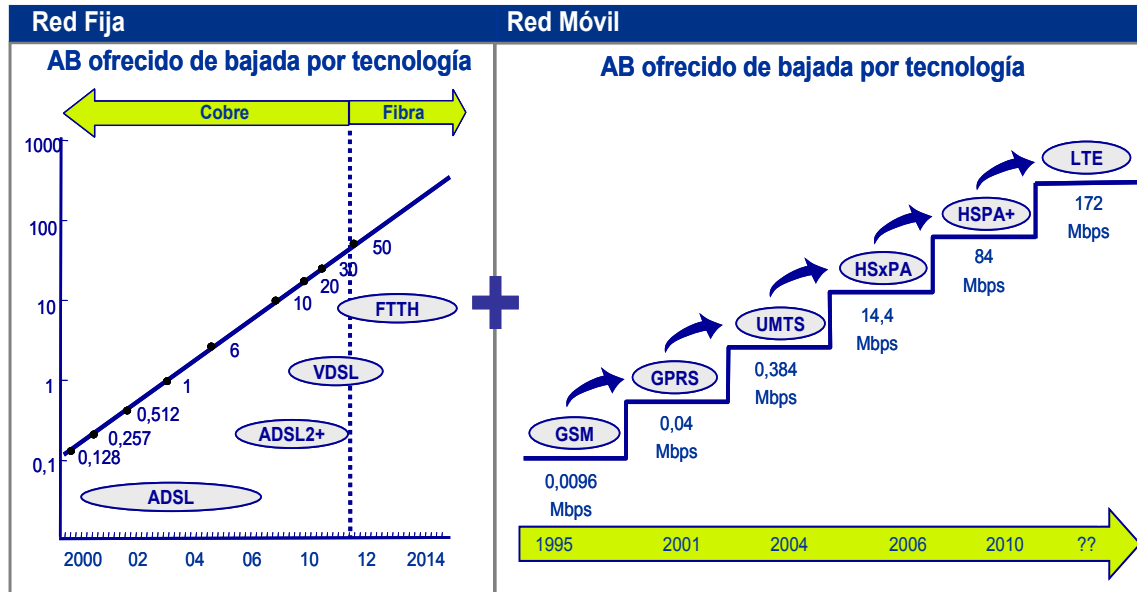


**Figura 11. Volumen de tráfico de datos en las redes móviles**  
**Elaboración propia a partir de [8], [15] y [16]**

El nuevo paso evolutivo de la BAM en nuestro país nos lleva a la tecnología HSPA, estándar que mejora con creces la velocidad de subida gracias a la tecnología HSUPA, combinada con la tecnología de bajada HSDPA. Durante 2010 Vodafone ha llevado a cabo el primer piloto de esta incipiente tecnología, siendo el primero producido en España, mostrando una actualización constante de la BAM, con el afán de poder satisfacer de la mejor forma posible las necesidades de ubicuidad de los usuarios, y en menor medida las de ancho de banda, todavía bastante por detrás de la ofrecida por la BAF.

En 2013, las operadoras más importantes del sector (Movistar, Vodafone, ...) están empezando a ofrecer servicios 4G

Afortunadamente, el desarrollo de la tecnología permite el despliegue de redes de nueva generación, de mayor velocidad y capacidad, aptas para satisfacer esta necesidad de mayor ancho de banda y movilidad.



**Figura 12. Tecnologías para Ancho de Banda y Movilidad**  
Elaboración propia partir de [5]

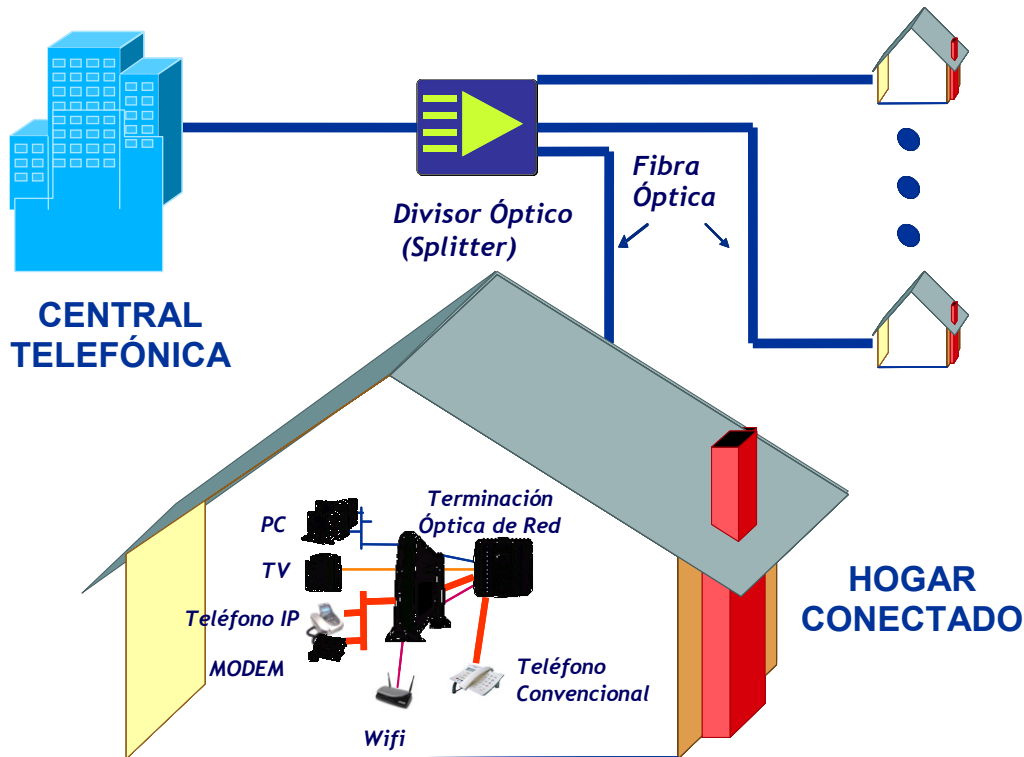
En línea con otros países europeos se iniciaron en España, durante 2008, los despliegues de las denominadas Redes de Acceso de Nueva(o Siguiende) Generación, NGA (*Next Generation Access*), que sustituirán a las existentes redes de cobre y que ofrecen al cliente mayores velocidades y más servicios, tras la publicación del regulador (la CMT), previa consulta pública, de las que serán las líneas maestras de su futura regulación.

Las redes fijas NGA de Ultrabanda Ancha están basadas en la Fibra Óptica hasta el Hogar, FTTH (*Fiber To The Home*), y sus variantes (FTTN, FTTB y FTTC).

La Fibra Óptica posee importantes ventajas respecto a las tecnologías xDSL, mejorando también la red de acceso coaxial de las operadoras de cable actuales:

- Es compatible con los servicios actuales, a los cuáles no afecta, ya que su despliegue se realiza de forma superpuesta a la red de cobre, utilizando la canalización existente.
- Cada fibra que sale de la central puede ser usada por un conjunto de usuarios, cuyo ancho de banda para cada uno dependerá tanto del número de los mismos como de la tecnología que se use para explotar la fibra (GPON, EPON, 10GPON...).

- Permite ampliar, por tanto, el ancho de banda de los usuarios de una forma muy flexible, hasta límites que, hoy por hoy, superan ampliamente las expectativas de los internautas más “pesados”.
- Incrementa de forma muy significativa el alcance de central a cliente, ya que las señales ópticas no se atenúan de la forma en que ocurría en las redes de acceso xDSL. Este mayor alcance propicia también un importante ahorro en la inversión en equipos al operador en las inmediaciones del cliente.
- Para las tecnologías xPON presenta, de nuevo para las operadoras, un ahorro muy importante de energía en la alimentación de los equipos de su red de acceso, al no requerirla por ser pasiva.



**Figura 13. Ultra Banda Ancha por fibra óptica**  
**Elaboración propia a partir de [5]**

El hecho de que los usuarios demanden servicios mayoritariamente caracterizados por la movilidad y un cada vez más elevado ancho de banda, hace necesaria la unión entre la Banda Ancha fija y la móvil en la Nueva Banda Ancha, por lo que parece claro, de cara al futuro, que la búsqueda de sinergias, mejoras en la eficiencia producidas por la unión entre ambos universos tecnológicos, la banda ancha y los nuevos servicios IP multimedia

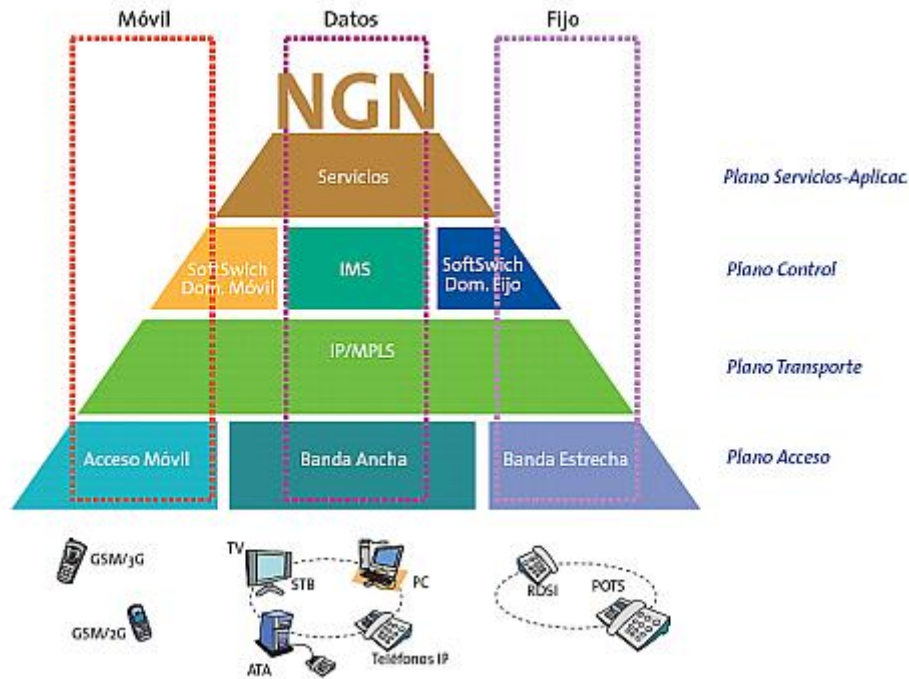
harán que la denominada Red de Siguiete Generación, NGN (*Next Generation Network*), adquiera un papel fundamental como eje del desarrollo de la convergencia.

NGN se trata de un modelo de arquitectura de redes de referencia, que nace con la finalidad de permitir el desarrollo tanto de los nuevos servicios IP multimedia, como la evolución de los actuales servicios de telecomunicación.

Y es que, entre los servicios multimedia que tendrán cabida en NGN, están las comunicaciones de VoIP de nueva generación, las mensajerías integradas multimedia, la videocomunicación y domótica, entre otros.

Los puntos más importantes a descartar de esta arquitectura son:

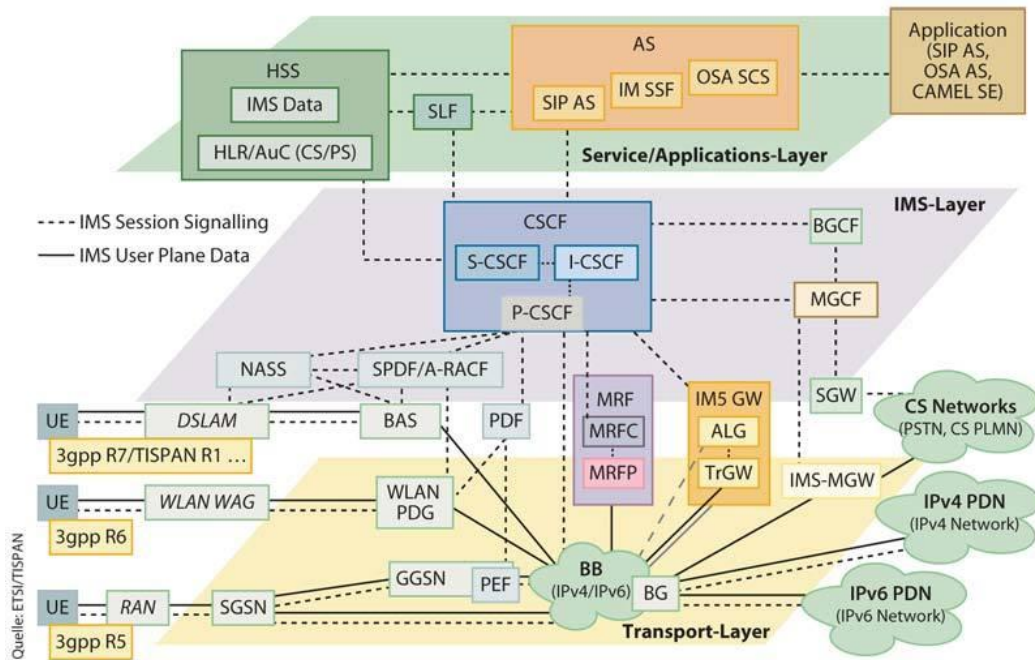
- La arquitectura de red es horizontal, basada en cuatro planos: acceso, transporte, control y aplicación, con la particularidad de que entre los tres últimos existe una división prácticamente transparente.
- La definición, provisión y acceso a los servicios se realiza de forma independiente de la tecnología de la red.
- El plano de transporte estará basado en IP/MPLS (multi protocol label switching, tecnología de conmutación de paquetes basada en etiquetas
- Los interfaces son abiertos y los protocolos estándares.
- La migración de las redes actuales a este modelo de referencia, básicamente se realiza mediante sustitución o mediante tecnologías de emulación.
- Soporte de servicios de diferente naturaleza: tiempo real/no tiempo real, *streaming* o servicios multimedia (voz, video, texto )
- Calidad de servicios garantizada extremo a extremo
- Seguridad
- Movilidad generalizada



**Figura 14. Arquitectura NGN**  
**Descargada de [1]**

Su arquitectura evolucionará según los estándares definidos por TISPAN y 3GPP, específicamente hacia una arquitectura IMS (*Internet Multimedia Subsystem*), conjunto de elementos funcionales que configuran el plano de control de este modelo de referencia, junto con una capa de transporte IP y diferentes tecnologías y medios de acceso, como se indica en la Figura 14, viéndose una visión completa de toda la red, en la cuál no vamos a profundizar. La capa de transporte IP estará construida sobre un núcleo IP de alta capacidad, disponibilidad y seguridad, con tratamiento específico y diferenciado de los tráficos en función de su volumen y QoS.





**Figura 15. Arquitectura IMS**  
Obtenida de [10]

IMS se configura como el núcleo de control de las arquitecturas de nueva generación, siendo la entidad funcional que en una arquitectura NGN permite controlar las comunicaciones con los dispositivos de los usuarios de forma centralizada y deslocalizada, para la provisión de los servicios (datos, voz, video, etc.) que estos requieran.

El modelo IMS se basa, de forma resumida, en:

- Para la prestación de servicios multimedia se usa el protocolo SIP, capaz de manejar la señalización para iniciar, manejar y terminar sesiones interactivas entre dos o más usuarios en Internet, proporcionando además flexibilidad, escalabilidad y facilidades para la creación de nuevos servicios.
- Sólo admite conectividad IP del cliente. Esta idea consolida nuevamente la convergencia de accesos fijo y móvil, donde IMS trabaja con cualquiera de ellos, siempre que sean de BA.
- Movilidad generalizada. Incluye la movilidad entre diferentes accesos, entre redes y entre los usuarios con sus aplicaciones en sus diversos terminales (PC portátil, teléfono móvil...).

NGN e IMS parecen, por tanto, ser la llave para acceder a una nueva era donde la convergencia progresiva de los servicios finales de los clientes fijos-móviles multimedia de las redes, de los sistemas y herramientas, junto al negocio que generarán, habrán de sustituir, paulatinamente, a los actuales.

## 2.6 Prejubilación del ADSL

En el Consejo Europeo de Lisboa del año 2000, se mencionó, en relación con las metas estratégicas a alcanzar durante la próxima década (lo cuál nos lleva ya al momento actual), lo siguiente (extraído de [2]):

*Una sociedad de la información para todos. Las empresas y los ciudadanos deben tener acceso a una infraestructura de comunicaciones de la mejor calidad, barata, y a un amplio abanico de servicios. Todo ciudadano debe poseer los conocimientos necesarios para vivir y trabajar en la nueva sociedad de la información. Las distintas formas de acceso deben evitar la exclusión en relación con la información.*

La posibilidad de haber alcanzado en gran parte estos objetivos se debe de forma mayoritaria a la tecnología ADSL, sin olvidarnos del HFC. En su conjunto, se reparten la práctica totalidad de los accesos fijos de banda ancha.

Por otro lado, a mediados de 2010 se divulgaron nuevos objetivos de la BA, lo que se conoce como la Agenda Digital para Europa, por la Comisión, el Parlamento y el Consejo Europeo:

- Cobertura global de BA básica para 2013. Concretamente en España se fija el ancho de banda mínimo disponible en 1 Mbit/s, aunque gracias a la banda ancha móvil, con la tecnología HSPA y HSPA+ se espera poder alcanzar este objetivo sin demasiados problemas.
- La cobertura de banda ancha global en cualquier país perteneciente a la Unión Europea, en 2020, será de 30 Mbit/s. dentro de este objetivo se fija que haya un mínimo del 50% de los accesos con un ancho de banda de 100 Mbit/s. Las capacidades de la fibra óptica y su despliegue actual, convierten esta tecnología, hoy por hoy, en la idónea para asumir el rol de favorita para consumir este objetivo. Para los dispositivos móviles, en base a la reducida pantalla en comparación con los televisores, no necesitarán más de 10 Mbit/s para obtener la máxima calidad

posible en la experiencia de visionado de un contenido multimedia, previsiblemente asumible por la tecnología LTE.

A pesar de que la fibra optica parece estar llamada claramente a ser el futuro, y ya parte del presente, de la banda ancha de alta velocidad, existen nuevas tecnologías que permiten mejorar el rendimiento de las tecnologías que parecen haber llegado hace tiempo a su máximo. Es el caso de las líneas de pares: la optimización de las técnicas actuales DSM (*Vectored*), GigaDSL, Cu\_PON, ADSL Bonding, o el VDSL2, aunque ya se vienen oyendo voces: “La banda ancha en España es tres veces más lenta que en países de su entorno”[11], o “España, diez puntos por debajo de la tasa media de penetración de Internet de la UE”[12], que probablemente conseguirán que el par de cobre diga adiós definitivamente, después de más de cien años de servicio y de continuas adaptaciones evolutivas a los nuevos requerimientos de los usuarios.

Con ello, finalizará un largo período en el que una tecnología ha servido a la sociedad como casi ninguna otra, facilitando el paso a una nueva era digital que será factor decisivo en las finanzas de multitud de países, donde los nuevos servicios contribuyan a la generación de empleo, al desarrollo de la competitividad...al crecimiento económico [4].



### 3 Previsión de la evolución del tráfico de red

Hasta ahora hemos analizado la evolución histórica de las tecnologías de BA en España en la red de acceso. En dicho análisis hemos podido ver cómo ha ido creciendo el número de usuarios de estas tecnologías y también cómo ha ido en aumento la demanda de ancho de banda, traducido como un progresivo incremento del tráfico de datos para las redes de las operadoras. . Dicho crecimiento en la demanda de tráfico evidentemente resulta una gran preocupación para cualquier operadora, ya que el futuro de las mismas pasa por realizar una planificación de red acorde con la demana de los usuarios.

Es precisamente en la evolución del tráfico de datos lo que vamos a estudiar en este bloque.

Hablar de algún evento pasado, más o menos reciente, o incluso actual puede resultar una tarea relativamente sencilla en cuanto al analisis de resultados, pero... ¿y si los resultados no existen aún? ¿se pueden prever? En esta parte vamos a ir un paso más allá, mostrando un análisis de lo que “se espera” que ocurra con el tráfico tanto de las redes fijas como de las móviles, durante los próximos meses e incluso años.

Hacer una predicción a futuro de lo que ocurrirá no es tarea para nada fácil, y menos aún dentro del campo de la tecnología, cuya capacidad de evolución es realmente asombrosa, y ya ha sacado los colores de personas tremendamente influyentes en este campo. Frases como “nunca vamos a hacer un sistema operativo de 32 bits”, “el spam estará resuelto en dos años” (en 2004) o “Nadie va a necesitar más de 640 Kb de memoria en su ordenador personal” (en 1981) se atribuyen ni más ni menos que a Bill Gates [23]. “No existe razón alguna para que alguien quiera una computadora en casa.” -Ken Olson, presidente y fundador de DEC, en 1977- o “El iPod nunca despegará” - Alan Sugar, fundador de AMSTRAD, en 2005 - son sólo una pequeña muestra de lo difícil y arriesgado que resulta hacer una predicción tecnológica.

Algunas grandes empresas a nivel mundial, como Cisco, Analysys Mason o Morgan Stanley entre otras, desafían los obstáculos que representa realizar previsiones y se atreven con análisis y resultados futuros de tráfico de red tanto fija como móvil. Eso sí, no se trata de predicciones realizadas mediante el uso de una bola de cristal como herramienta o cualquier otro método esotérico, sino mediante una metodología elaborada

y experimentada, en la que, por supuesto, el lapso de tiempo pronosticado nunca excede el medio plazo.

Las previsiones que vamos a ver no pretenden ceñirse a los números exactos, sino que tratan de mostrar la tendencia del tráfico de los próximos meses desde el punto de partida actual, mediante el estudio de las condiciones en las que éste se está llevando a cabo y con la introducción o modificación de pequeños factores que repercutirán en el crecimiento del mismo.

El sector residencial es realmente en el que centraremos nuestro análisis de previsiones de tráfico, al hilo de lo visto hasta ahora en este PFC, si bien incluiremos alguna reseña del sector empresarial para dar una visión global de todo el mercado.

Inicialmente podemos observar la siguiente tabla elaborada con la información de *Cisco Visual Networking Index*, que resume las previsiones de Cisco sobre el crecimiento del tráfico IP global en las redes de telecomunicación.

**Tabla 1. Tráfico IP Global, 2012-2016**  
**Elaboración propia basada en [19]**

Tráfico IP Global, 2012-2016						
	2012	2013	2014	2015	2016	CAGR 2012-2016
<b>Por Tipo (PB por Mes)</b>						
Tráfico Internet Fijo	33049	44883	59096	70622	80562	25%
Tráfico Móvil	1252	2379	4215	6896	10804	72%
Tráfico No Internet	9199	11830	14063	16231	18131	19%
<b>Por Segmento (PB por Mes)</b>						
Residencial	37304	51332	67637	82189	96367	27%
Empresarial	6198	7760	9737	11561	13130	21%
<b>Por Geografía (PB por Mes)</b>						
América del Norte	14580	18866	22810	25464	27486	17%
Europa Occidental	10285	14116	18536	21791	24259	24%
Asia - Pacífico	14792	20463	27567	34220	40488	29%
América Latina	1570	2355	3619	5349	7564	48%
Europa Central y del Este	1673	2377	3382	4578	5987	38%
África y Oriente Próximo	601	914	1460	2349	3714	58%
<b>Total (PB por Mes)</b>						
Tráfico IP Total	43501	59091	77374	93751	109498	26%
Residencial (o Doméstico): Incluye tráfico IP fijo generado en los hogares, universidades públicas y cibercafés Empresarial: Incluye tráfico IP WAN generado por las empresas y las administraciones públicas Tráfico Internet Fijo: Incluye todo el tráfico IP fijo que atraviesa la red troncal de Internet Tráfico Móvil: Incluye el tráfico de datos y el tráfico de Internet generado por la banda ancha móvil Tráfico No Internet: Tráfico IP WAN corporativo y el tráfico IPTV y VoD CAGR: Compound Annual Growth Rate (Tasa de crecimiento anual)						

De esta información se puede obtener, a consecuencia de su análisis, una serie de conclusiones, junto a un conjunto de curiosidades interesantes para ir entrando en materia:

- El tráfico IP global anual, por primera vez, superará el zettabyte a finales de 2016 (1,3 zettabytes), siendo esta cifra de 109,5 exabytes mensuales.
- El tráfico IP global se ha multiplicado por ocho en los últimos cinco años, y se espera que lo haga por cinco durante los próximos cinco años, con una tasa de crecimiento anual media del 26% de 2012 a 2016.
- La cantidad de información que recorrerá el conjunto global de redes que forman Internet en 2016 cada tres minutos es el equivalente a todas las películas hechas hasta ahora (unos 7,5 petabytes). Esta misma cantidad de información se espera que atraviese la Red en tan sólo cinco minutos en 2015.

- A finales de 2015 el conjunto de internautas que genera más de un terabyte al mes alcanzará la cifra de seis millones, cuando en 2010 tan sólo existían algunos cientos de miles.
- El número de dispositivos conectados a redes IP en 2015 será más del doble que la población total del planeta, así habrá dos dispositivos de media por persona. El consumo de media por habitante alcanzará los 11 gigabytes mensuales, frente a los poco más de tres que había en 2010. Y esta cifra seguirá creciendo a gran ritmo, ya que tan sólo un año después, en 2016, se espera que la cifra de estos dispositivos casi triplique a la población mundial, con un consumo medio per cápita de 15 gigabytes mensuales.
- Cada vez más se origina tráfico Internet mediante dispositivos distintos del PC, de modo que la cifra del 3% dada de tráfico BAF doméstico para 2010, se elevará a finales de 2015 a un 13% y en 2016 llegará hasta el 19%. El crecimiento de tráfico Internet generado desde un PC seguirá creciendo, con una tasa anual cercana al 27%, si bien el tráfico generado por televisores, *tablets*, *smartphones* y entre máquinas (M2M) tendrá una tasa de crecimiento del 77 %, 129 %, 119 % y 86% respectivamente.
- El tráfico de los dispositivos inalámbricos superará al generado por dispositivos *cableados* a lo largo del 2016, situándose la tasa de los primeros en un 39 % del total de tráfico IP, cuando en 2010 la supremacía del tráfico de los dispositivos *cableados* situaba su porcentaje en un 63%.
- El tráfico en hora cargada crecerá a tasas superiores que la media de tráfico, dando a entender una medida de concentración de tráfico generado por los usuarios en la hora de mayor uso. Concretamente, en 2016 el tráfico en hora cargada se multiplicará por cinco mientras que la media de tráfico lo hará por cuatro. El tráfico medio en hora cargada en 2016 será el equivalente al generado por 600 millones de usuarios viendo, mediante *streaming*, vídeos en alta definición simultáneamente.
- El tráfico IP procedente del sector empresarial crecerá de media anualmente un 21% entre 2012 y 2016, debido principalmente a la mejora en la calidad de las videocomunicaciones. Concretamente, se prevé que las videoconferencias empresariales se multipliquen por seis en el período 2012-2016.



Por su parte, el tráfico IP residencial (o doméstico) crecerá de media un 6% anual más deprisa que el empresarial hasta 2016.

- El crecimiento del tráfico IP empresarial crecerá con mayor velocidad en la regiones de África y Oriente Próximo, con un CAGR del 33%, 12 puntos por encima de la media. Por otro lado las regiones de América y Europa Occidental mantendrán la primera y segunda posición respectivamente en cuanto a la cantidad de tráfico IP empresarial generado, con una previsión de 3,3 y 2,9 EB mensuales, respectivamente, en 2016.
- o sólo está previsto que en las regiones de África y Oriente Medio crezca el tráfico IP empresarial, sino el tráfico general (empresarial + doméstico), seguido por América Latina, con un CAGR del 58 y 48% respectivamente, en el período 2012-2016. Por su parte, la región que menos crecerá será América del Norte, con la nada despreciable cifra de un 17% de CAGR en el mismo período.
- El tráfico IP de datos móviles será el que más crecerá situando su crecimiento anual medio en un 72% hasta 2016, haciendo crecer así su ponderación sobre el tráfico IP fijo y el No-Internet, pasando del 2% al 10 % del total entre 2011 y 2016. Este crecimiento hará que el tráfico móvil se multiplique por 18 en el período 2011-2016
- El tráfico IP fijo y el No-Internet tendrán, en este mismo período, un crecimiento anual de menos de la mitad y menos de la tercera parte, respectivamente, que el de datos móviles.
- A finales de 2012 habrás más dispositivos móviles que personas en el planeta, y para 2016 se espera que de media haya 1,4 por persona, con cerca de 10 mil millones de dispositivos y 7300 millones de personas.
- La velocidad media de conexión móvil aumentará hasta los 2,9 MB en 2016, nueve veces superior que en 2011.
- Se espera que para 2016 el 6% de las conexiones móviles sea mediante 4G, acumulando el 36% del tráfico móvil total. Cada conexión de 4G descargará de media, nueve veces más tráfico que el resto.

- Se calcula que dos terceras partes del tráfico móvil en 2016 será vídeo, creciendo este tipo de tráfico muy intensamente en el período 2011-2016 hasta multiplicarse por 25.
- El tráfico medio de un *smartphone* en 2016 se estima en 2,6 GB, lo que es 17 veces superior al que generaba en 2011.
- Oriente Próximo y África tendrán las mayores tasas de crecimiento de tráfico móvil hasta 2016 con un 108%, seguido por la región de Asia-Pacífico (CAGR de 84%) y de Europa Central y del Este (83% de CAGR).
- China contará con el 10% del tráfico móvil total en 2016 cuando en 2011 ni siquiera llegaba al 5 %.

Tras ver inicialmente este conjunto de conclusiones que se pueden extraer como parte de las previsiones de tráfico IP estimadas para un futuro cercano en el tiempo, ahora presentamos un análisis de la evolución del tráfico más en profundidad, principalmente de la BAF y BAM, donde también se comentarán los principales factores en los que se apoyan dichas predicciones.

### CATEGORIZACIÓN DEL TRÁFICO IP

A fin de evitar confusión en el lector, y ayudarle a comprender mejor la nomenclatura usada, en este pequeño epígrafe queremos reseñar la clasificación de los subconjuntos de tráfico IP de los que aquí hablamos.

**Tabla 2. Categorización del tráfico IP**  
Elaboración propia

TIPO \ SEGMENTO	RESIDENCIAL	EMPRESARIAL
BA FIJA		
NO INTERNET		
BA MÓVIL		

Podríamos hacer una clasificación, desde el punto de vista del segmento al que se le atribuye el tráfico, y decir que el tráfico IP (total o global) queda dividido en dos vertientes, la residencial y la empresarial.

Otra clasificación muy útil del tráfico es la realizada en base al modo en que el usuario realiza uso del tráfico IP, quedando dividida en tres grupos: tráfico IP de Internet fijo, tráfico IP de Internet móvil y tráfico IP No Internet.

Denominamos tráfico IP residencial, o tráfico IP doméstico, a todo aquél procedente o destinado desde/hacia cualquier usuario (también llamado consumidor, o particular) que atraviese la red de Internet pública, es decir, el que no proceda de una empresa. De modo opuesto obtenemos la definición de tráfico IP empresarial.

El tráfico IP residencial, que por simplicidad muchas veces llamaremos tráfico residencial (aunque no sea muy común, podría darse casos en que tráfico residencial no implica que este sea de naturaleza IP), y el tráfico IP empresarial (también le llamaremos tráfico empresarial, siendo conscientes que aunque ínfimamente, no todo el tráfico es IP) quedan subdivididos en tres categorías. La más abundante de ellas es el procedente de las redes fijas, banda estrecha más banda ancha, y dado que la BE apenas tiene un mínimo aporte del total, podemos decir que esta categoría bien podría denominarse banda ancha fija (BAM).

La segunda categoría en cantidad de tráfico es la denominada *Tráfico No Internet*.

En el caso del tráfico residencial, en este subconjunto queda agrupado básicamente hoy el tráfico IP de las plataformas IPTV y VoD de las operadoras de ADSL, que constituyen una especie de “corralito” o *walled garden* de sus aplicaciones y servicios asegurándoles a sus usuarios una calidad que no es posible en el *free Internet*. A futuro, a medida que las operadoras de cable migren también sus servicios a IP, esos tráficos también pertenecerán a este apartado, pero hoy por hoy las operadoras de cable apenas disponen de IPTV, es decir, que las señales del broadcast de canales de TV y del VoD son señales codificadas MPEG y moduladas con QAM sin pasar por su encapsulamiento previo en IP. Este formato es denominado DVB-C, de sus siglas en inglés Digital Video Broadcast - cable, y es un sistema de transmisión digital de televisión por cable basada en estándares europeos.

Es por tanto necesario matizar que aquí se hace una pequeña “trampa”, ya que, con el fin de complicar menos el organigrama y evitar así distinguir entre el tráfico IPTV y VoD de las operadoras xDSL y de las de cable (al usuario no le importa si la señal que le llega ha sido previamente encapsulada o no en una trama IP), será contabilizado como tal.

En el caso de que hablemos del tráfico no Internet dentro del tráfico IP empresarial, éste básicamente aglomera el tráfico WAN IP, es decir, el tráfico empresarial que es

transportado sobre redes de operadores formando redes privadas virtuales (VPN), o bastante menos común, el que permanece en la red corporativa de la propia empresa, excluyendo las transferencias de backup.

Ya por último, la categoría de datos móviles unifica el tráfico de todos los dispositivos móviles con conexión a Internet: tablets, smartphones, datacards en portátiles, etc. En estas conexiones móviles quedan agrupadas, por tanto, todas las procedentes de las tecnologías GPRS, CDMA, HSPA o incluso en esta previsión de tráfico se incluye el futuro tráfico de 4G, y aunque GPRS no es considerada una conexión de banda ancha, será incluido dicho tráfico para facilitar el estudio, y de esta forma también se denomina a esta categoría banda ancha móvil, BAM.

### 3.1 Tráfico IP Residencial

Como se puede observar en la siguiente tabla, el tráfico IP Residencial esperado se aproximará a los 96,4 exabytes por mes en 2016, con un crecimiento anual medio del 27%.

El CAGR que tuvo este tráfico en el período 2006-2012 rondó el 50%, lo que demuestra que el crecimiento actual, si bien es más suave que en años anteriores, sigue moviéndose en unas cifras bastante significativas.

Como hemos comentado en el epígrafe anterior, el tráfico IP Residencial se divide en tres grandes bloques: BAF, BAM y No Internet.

**Tabla 3. Tráfico IP Residencial, 2012-2016**  
**Elaboración propia basada en [17]**

Tráfico IP Residencial, 2012-2016						
	2012	2013	2014	2015	2016	CAGR 2012-2016
<b>Por Tipo (PB por Mes)</b>						
Tráfico Internet Fijo	29155	40132	53319	64024	73463	26%
Tráfico No Internet	7270	9482	11202	12953	14592	19%
Tráfico Móvil	879	1717	3116	5213	8313	76%
<b>Por Geografía (PB por Mes)</b>						
América del Norte	12700	16606	20084	22262	23819	17%
Europa Occidental	8714	12110	15948	18785	21058	25%
Asia - Pacífico	12903	18062	24551	30622	36358	30%
América Latina	1260	1949	3093	4736	6911	53%
Europa Central y del Este	1375	2021	2944	4053	5374	41%
África y Oriente Próximo	352	584	1018	1730	2848	69%
<b>Total (PB por Mes)</b>						
Tráfico IP Residencial total	37304	51332	67638	82188	96368	27%

En la previsión para 2016, la mayor parte de este tráfico, aproximadamente tres cuartas partes, será tráfico de Internet procedente de las redes fijas. La otra cuarta parte de este tráfico IP lo conformarán conjuntamente el tráfico no Internet y el procedente de las redes móviles, siendo este último, quien tan sólo aportará un 8% del total, el tipo de tráfico que más crecerá durante los próximos años con tasas cercanas al 76%. Dicha tasa de crecimiento, si bien es elevada, es inferior al ritmo de crecimiento de años precedentes, en los que el tráfico móvil crecía incluso por encima del doble anual, lo que indica el asentamiento o madurez de esta tecnología a nivel mundial.

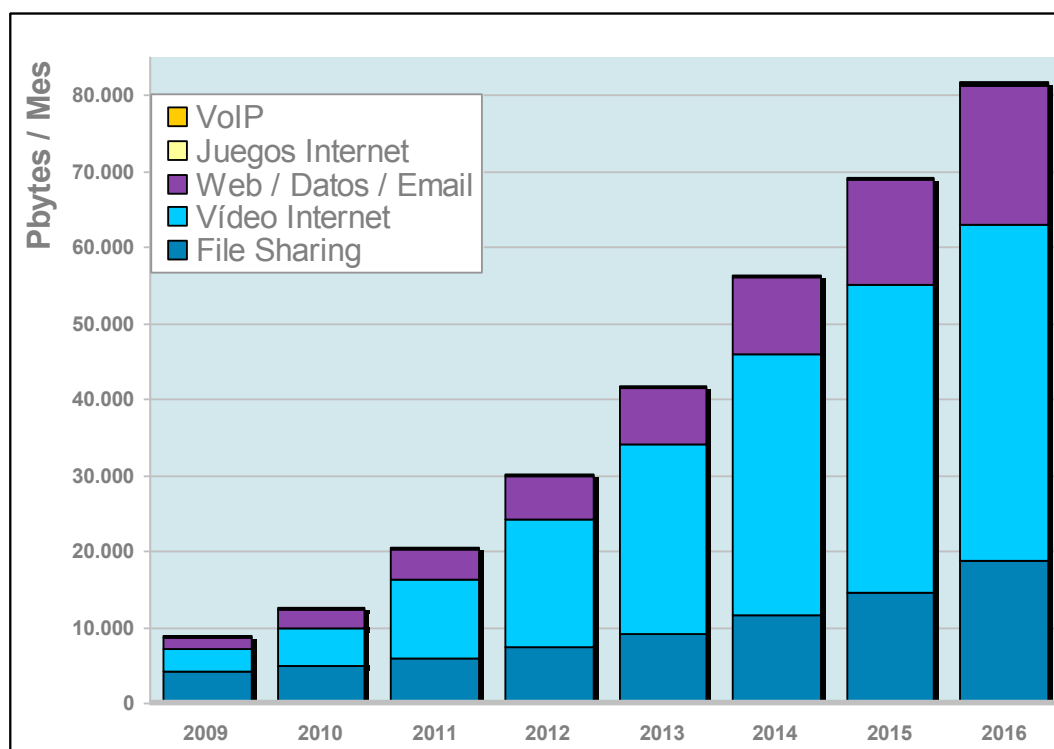
Regionalmente, se aprecia un mayor crecimiento anual en África y Oriente Próximo (CAGR del 69%) seguido a cierta distancia de Latinoamérica (53%). Comparativamente con años precedentes, en el período 2006-2012, se dibuja un cambio en la tendencia de crecimiento del tráfico IP residencial, pasando de unas regiones a otras, dado que en dicho período Europa Occidental, Centro Europa y Europa del Este (CAGR del 56%), fueron las regiones más activas, aunque en el caso de Latinoamérica las tasas de crecimiento no ha variado mucho respecto del 60% de CAGR del período pasado.

### 3.1.1 Tráfico Residencial de Internet: Fijo (BAF) y Móvil (BAM)

Esta categoría engloba todo el tráfico IP residencial que cruza Internet, es decir, estamos excluyendo el tráfico no Internet, y cuya futura evolución será posteriormente analizada.

La evolución de este tráfico en los últimos años y su previsible evolución hasta 2016, se plasma en la Figura 16, en donde queda reflejado cada componente de dicho tráfico.

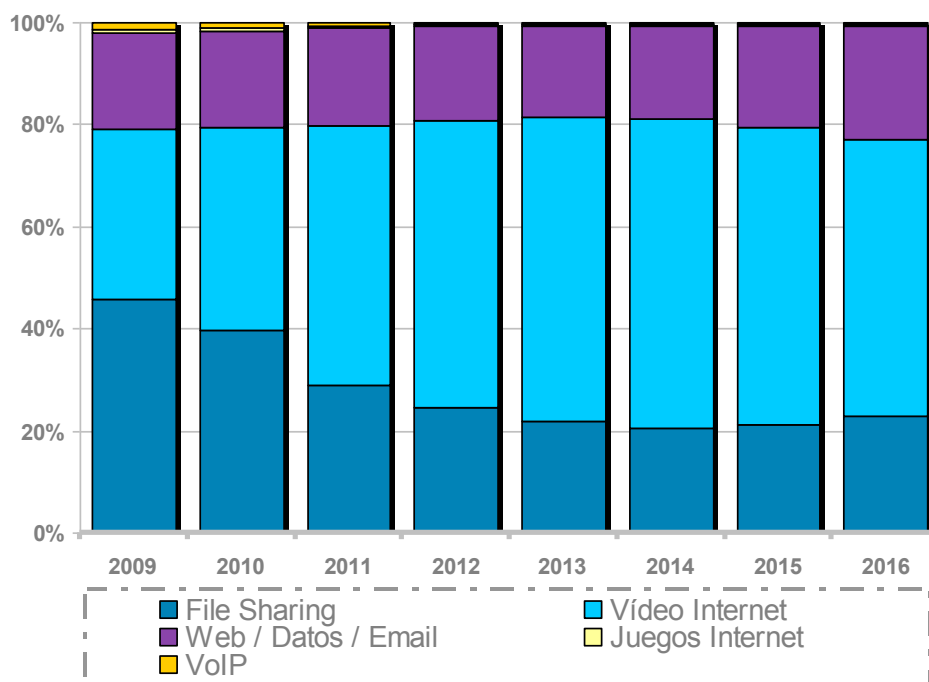
En la evolución que se observa en la figura 16 podemos apreciar cómo hasta 2010 el tráfico de *FileSharing* era el más abundante, si bien en ese año señalado el tráfico de vídeo de Internet iguala la situación. El vídeo Internet, ha tenido (y está teniendo a fecha de hoy) un crecimiento abrumador entre 2009 y 2012, con un crecimiento anual medio por encima del 80%, que le ha posicionado destacadamente en primer lugar en ranking de tráficos, siendo significativamente mayor el tráfico de vídeo Internet que el del resto de componentes de tráficos de forma conjunta. Durante el período 2012-2016 su crecimiento será cada vez más moderado, con un 28% de CAGR, tasa parecida al desarrollo del *FileSharing* (26% de CAGR), donde ya en 2016 perderá algo de terreno frente a los demás tipos de tráfico. En su conjunto, el tráfico BAF y BAM se aproximarán a los 82 EB mensuales a finales de 2016, siendo superior a 73 EB y a 8 EB mensuales el aporte de cada uno respectivamente.



**Figura 16. Tráfico Residencial de Internet: Fijo (BAF) y Móvil (BAM)**

**Elaboración propia basada en [19], [18] y [17]**

Los tráficos de menor ponderación, que se pueden observar en la figura 17 procedente de los juegos online y la voz sobre IP (en la gráfica son prácticamente inapreciables), muestran una rutina de crecimiento muy dispar, en donde la VoIP apenas crece anualmente un 1% frente al 50% de CAGR que se prevé para tráfico Gaming. Por último, el tráfico Web (conjuntamente con los datos y el correo electrónico) mantendrá una tasa de crecimiento en el período 2012-2016 superior tanto al del vídeo Internet como al de FileSharing, con un 35% de CAGR, lo que hará que para 2016 equilibre su ponderación con este último, hasta ese momento segundo tráfico más numeroso.



**Figura 17. Ponderación Tráfico Residencial de Internet: BAF y BAM**  
**Elaboración propia basada en [19], [18] y [17]**

Regionalmente no hay mucha variación entre los datos de tráfico IP globales y los residenciales, si bien el tráfico de Internet en la región de Oriente Próximo y África tendrá un señalable desarrollo del 73% de CAGR entre 2012 y 2016.

Cada una de las anteriores componentes del tráfico son ahora descritas y analizadas una a una, llegando así al nivel más bajo del análisis del tráfico, y comprendiendo el aporte de cada una de ellas después de haber visto el estudio del tráfico generalizado.

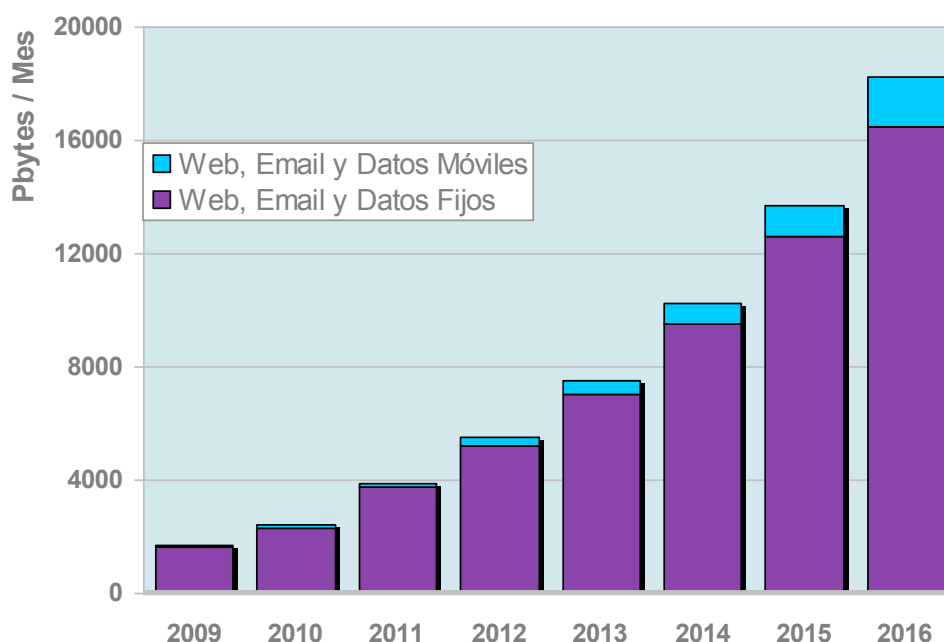
#### ***Web, Datos, Email***

Esta categoría es un tanto general, de modo que agrupa el tráfico de la navegación Web, los correos electrónicos, la mensajería instantánea, los datos (en los que están incluidos los transferidos por HTTP, FTP, etc.) y otras aplicaciones de Internet. También pertenece a este componente el tráfico de las descargas de vídeo que no ha sido posible recoger en el componente de vídeo de Internet. Incluye el tráfico generado por todos los usuarios de Internet, quedando definido el concepto de usuario de Internet como la persona que accede a Internet a través de un ordenador de sobremesa o portátil en su casa, la escuela, la universidad, el cibercafé o cualquier otro lugar que excluya un contexto empresarial.

La perspectiva de crecimiento medio anual de este componente entre 2012 y 2016 es de un 36%, superando para finales del año en curso 7,5 Exabytes mensuales.

La parte de este tipo de tráfico correspondiente a las conexiones BAM, es poco o nada significativa respecto a años pasados, pero su crecimiento prácticamente dobla la tasa anual del tráfico BAF, con un 62% frente a un 34%, de modo que según nos acerquemos a 2016 la ponderación del tráfico BAM de este componente se hará más significativa, como podemos ofrecer en la siguiente gráfica, llegando a ser casi la décima parte del tráfico Web total.

Llama la atención que a nivel regional no se producirán grandes diferencias en el desarrollo del tráfico Web, donde Europa Occidental presenta el CAGR más bajo, un 27%, seguido de Norteamérica con un 36% y el resto de regiones presentarán un crecimiento anual medio centrado en el 41%.



**Figura 18.CAGR Web, Datos, Email**  
Elaboración propia basada en [19], [18] y [17]

### **FileSharing**

Esta categoría engloba el tráfico de intercambio o compartición de ficheros entre los usuarios, que se pueden clasificar en dos vertientes, según sea la forma en que comparten los ficheros: a través de aplicaciones P2P, “de igual a igual”, donde todos los usuarios son clientes y servidor a la vez, como BitTorrent o eDonkey; o bien mediante sistemas



(páginas) a través de la Web, donde dicho tráfico es subido por una serie de usuarios y descargados por otros, es decir, que un usuario que descarga un fichero “ve” el fichero en un servidor. De ahí su nombre, descarga directa (direct download), basado en el modelo cliente-servidor. Páginas como Megaupload, cerrada recientemente, tenía casi 50 millones de usuarios diarios. Otras páginas populares son Fileserve, Bitshare o Freakshare entre otros.

Se estima que en 2011, entre el 70% y el 80% del tráfico de las aplicaciones P2P se produjo por intercambio de archivos de vídeo. El porcentaje de tráfico producido por archivos de vídeo mediante descarga directa se maneja en los mismos números que el P2P. Son datos a tener en cuenta a la hora de estudiar el impacto del vídeo en el tráfico de Internet.

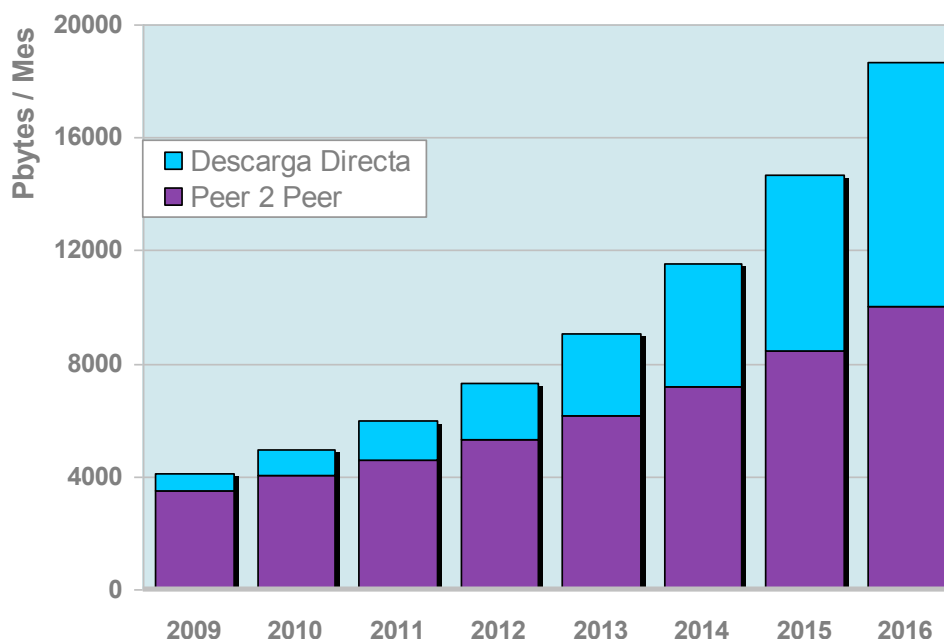
Actualmente, el tráfico FileSharing es la segunda componente de tráfico de Internet residencial que más volumen genera, con una cuarta parte del total, lo que supone 7,3 EB al mes. Su progresión en los últimos años, desde 2009 concretamente, ha sido relativamente baja en comparación con su crecimiento en años anteriores, dada su madurez a nivel mundial, pero en el período 2012-2016 no sólo se espera que mantenga el ritmo de crecimiento del 22% anual arrastrado desde 2009, sino que lo aumente hasta el 26% de CAGR. Su ponderación, de un 46% del tráfico de Internet residencial en 2009, se ha visto relegada a un segundo lugar empujada por el gran crecimiento del tráfico de vídeo Internet, si bien para 2016 se espera que este puesto quede “compartido” con el tráfico Web, recuperando parte de su peso y quedando establecido en cerca de un 23% del pastel con cerca de los 18,6 EB mensuales.

Geográficamente se registrarán grandes diferencias de crecimiento del tráfico FileSharing en los próximos años, donde la región con mayor crecimiento será Latinoamérica, con un CAGR del 44% durante 2012-2016, mientras que en la región de Oriente Medio y África el CAGR será de tan sólo un 6%.

En la región de Asia-Pacífico se concentrará, durante este año, más del 51% del tráfico FileSharing mundial (3,7 EB mensuales), y para el 2016 se espera que este porcentaje se eleve por encima del 56% (10,5 EB mensuales).

El tráfico móvil de FileSharing es muy poco representativo y a pesar de que presentará en el período 2012-2016 un mayor desarrollo anual que el fijo (36% frente a 25%), su ponderación se mantendrá inferior al 2%.

El desarrollo del tráfico FileSharing será muy distinto en los próximos años en cada una de sus dos vertientes, P2P y Descarga Directa, teniendo un CAGR del 17% y 44% de crecimiento anual medio respectivamente en el período 2012-2016, lo que provocará que crezca la ponderación de las Descargas Directas, si bien en 2016 aun permanecerá por debajo del P2P, pasando del 27% en 2012 al 46% a finales de 2016.



**Figura 19. CAGR FileSharing**  
Elaboración propia basada en [19], [18] y [17]

### ***Juegos En Internet***

Esta categoría, también denominada *Internet Gaming*, sólo refleja el tráfico generado por los juegos, agrupando el tráfico de los juegos en línea multijugador tanto en plataforma PC como en la de videoconsolas, y no la descarga de los mismos, mucha de lo cual se realiza mediante P2P.

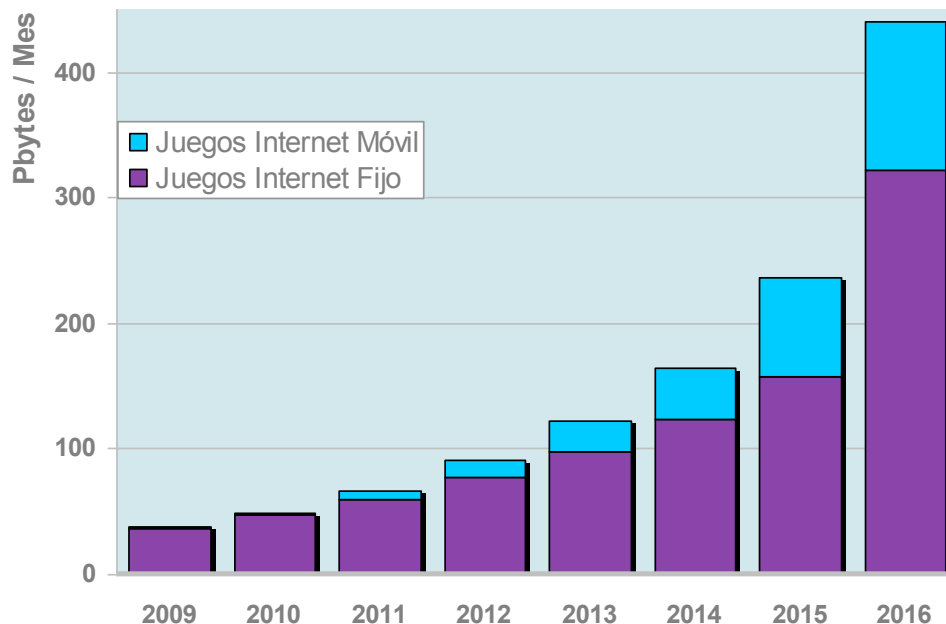
El porcentaje dentro del tráfico IP residencial de Internet no es significativo, rondando actualmente el 0,3%, pero con un volumen de 91 PB mensuales.

Se espera un 47% de crecimiento medio anual durante 2012-2016, donde alcanzará los 440 PB de volumen de tráfico mensual, aumentando algo su ponderación dentro del tráfico de Internet residencial hasta un 0,5% del total.

La componente móvil de este tráfico no ha tenido apenas trascendencia hasta 2011, donde ya supuso una décima parte del total del tráfico de esta categoría, e irá en aumento en los

próximos años, llegando a acaparar un tercio del volumen de tráfico, si bien descenderá previsiblemente hasta el 26% en 2016 debido al gran aumento que sufrirá la componente fija, multiplicándose por dos.

Regionalmente destaca el crecimiento medio anual en Asia-Pacífico con un 57%, aunque realmente no hay mucha desigualdad en cuanto a crecimientos en este tipo de tráfico. Europa Central y del Este, la de menor crecimiento previsto, tendrá un CAGR del 32%. Si hablamos de -volumen de datos, la situación es bien distinta, puesto que hay grandes diferencias geográficas: tan sólo la región de Asia-Pacífico acumula casi el 60% de todo el tráfico *gaming*.



**Figura 20. CAGR Juegos En Internet**  
Elaboración propia basada en [19], [18] y [17]

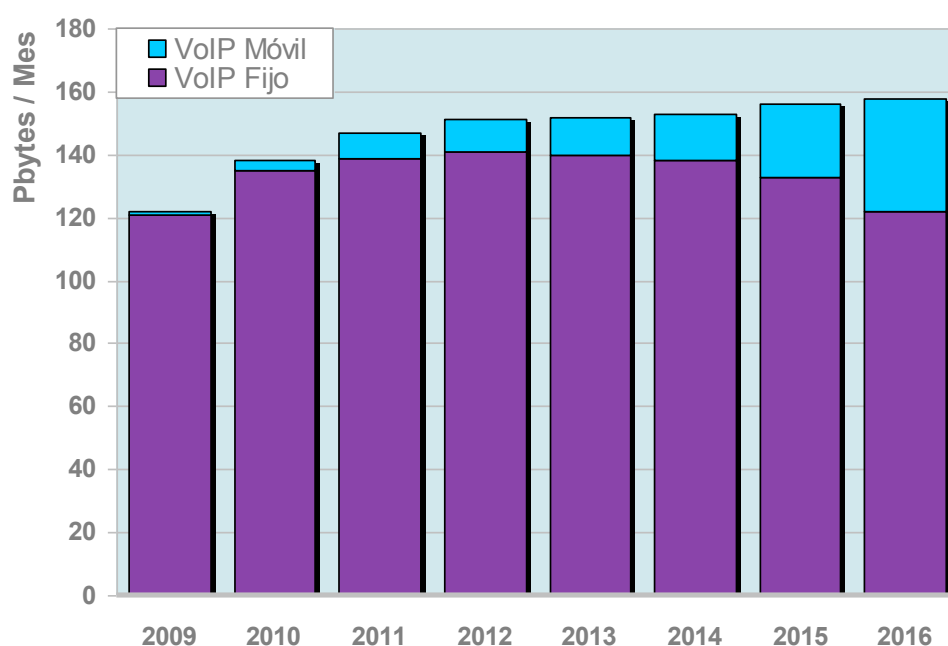
### ***Voz sobre IP (VoIP)***

Esta categoría incluye el tráfico de los servicios basados en telefonía IP, como una llamada desde un teléfono IP o aplicaciones de voz IP por Internet, como Skype.

El tráfico total de esta categoría, se puede considerar baja respecto del total, ya que en este año se espera que sea de 151 PB mensuales, siendo tan sólo el 0,5% del tráfico IP de Internet residencial, si bien debido a que una comunicación vocal mediante tecnología IP conlleva un volumen muy pequeño de datos (en comparación con el vídeo por ejemplo) se desmarca como una categoría reseñable en su uso.

Para 2016 se espera un tráfico mensual de VoIP de 158 PB mensuales, debido a su escaso crecimiento del 1,5%. Y no sólo se prevé un crecimiento muy pequeño, sino que además se da la circunstancia, única en este análisis, de que la componente fija experimentará un retroceso, entre 2012 y 2016 del 2,5%, si bien será especialmente notable el retroceso justo en el último año del estudio, donde perderá más de un 8% de volumen. El resultado de crecimiento total positivo, por tanto, es gracias al crecimiento de la componente móvil de este tipo de tráfico, y aunque su ponderación es hoy por hoy inferior al 7%, para 2016 se espera un incremento de hasta el 23% debido a su CAGR previsto para este período del 36%.

Donde más crecerá será en la región de Oriente Medio y África con un 24% de CAGR, y tanto Norteamérica como Europa Occidental experimentaran un -2% y -3% respectivamente de retroceso en su crecimiento en el mismo período.



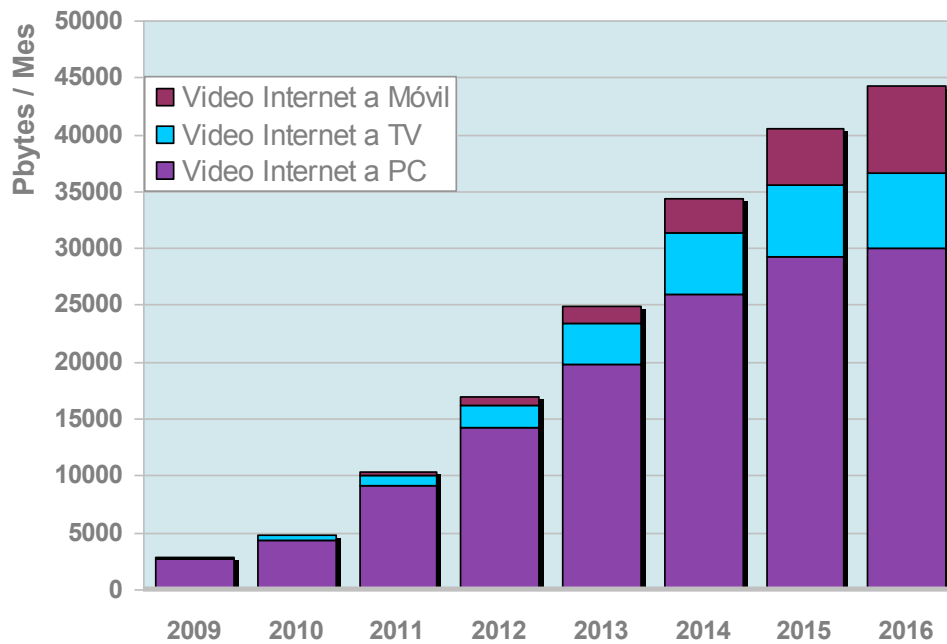
**Figura 21. CAGR Voz sobre IP (VoIP)**  
Elaboración propia basada en [19], [18] y [17]

### *Vídeo Internet*

Todo el tráfico de vídeo que circula por la Red queda aunado en esta categoría.

Para poder ver mejor los detalles de este tipo de tráfico, lo hemos subdividido en tres categorías, en base al dispositivo final donde se visualiza el contenido: vídeo Internet a PC, vídeo Internet a TV y vídeo Internet a móvil. Con la excepción del vídeo Internet a

TV, todo el vídeo Internet se trata de vídeo online que es descargado o *streamed*, ya sea para verlo en la pantalla del PC o en un terminal móvil. En el caso del vídeo Internet a TV, el vídeo es entregado “desde” Internet a un decodificador (set-top-box, STB) o dispositivo equivalente para que este haga la conversión necesaria para que pueda ser visualizado en la pantalla de televisión.



**Figura 22. CAGR Vídeo Internet**  
**Elaboración propia basada en [19], [18] y [17]**

En primera estancia, podemos ver en la gráfica un crecimiento continuado de cada una de las componentes, aunque ya, a nivel porcentual, el crecimiento anual será muy inferior en los próximos años frente a los recientemente pasados. Además, se aprecia el crecimiento de la ponderación de la componente móvil en el total, superando en 2016 a la componente de vídeo a TV. A pesar de estas tendencias, el rey sigue siendo el vídeo a PC, siendo muy superior su cuantía a las otras dos componentes de forma conjunta.

La mayoría del vídeo descargado a través de Internet son videoclips, episodios de series y otros contenidos ofertados por las compañías de contenido de video, como emisoras de televisión o productoras de películas, pero sin lugar a dudas, uno de los principales actores en la distribución de vídeo de Internet es YouTube. Y dentro del contenido que pueden ofrecer las emisoras de televisión, cabe destacar la BBC con su iPlayer, herramienta que permite visualizar contenido de la última semana por los usuarios, y no sólo a través del PC, como la mayoría de las emisoras, sino a través de cualquier

dispositivo con iOS (desde smartphones o tablets, hasta videoconsolas). En España hay un servicio parecido, el de RTVE a la carta, compartiendo además contenido radio y no sólo televisivo, e incluso, el iPlayer va más allá, ofreciendo a los usuarios descargas de aplicaciones software.

Otro servicio que resulta interesante, es el que lanzó en 2010 Telefónica Argentina, llamado On Video. Se trata de un servicio que permite a los usuarios acceder a contenidos de vídeo desde el TV, a través de Internet, donde incluso el vídeo puede ser visualizado también en el PC. Aquí en España contrasta con el servicio de TVIP, que usa una red de acceso propia por parte del operador, y no a través de Internet (walled garden), por lo que el contenido de este tipo de servicios, que requiere un STB queda englobado en la sección de tráfico IP no Internet.

Pero no sólo las operadoras lanzan servicios de visualización de contenido en los televisores, ya que los propios fabricantes de TV llevan a cabo acuerdos con empresas de servicios de contenidos para sus clientes. Así a través de TV de marca Samsung, LG o Sony entre otros, el usuario puede acceder a través de su set de TV a contenidos multimedia de Internet, como ocurre por ejemplo, con la gama Sony Bravia : YouTube, MTV, National Geographics, DailyMotion...además de poder acceder también a contenidos *a la carta* a(son contenidos bajo demanda) de canales de televisión como RTVE, La Sexta o Antena 3 [24].

### **Vídeo de Internet a PC**

Hace referencia al vídeo online que es obtenido mediante descarga o *streaming* para su visualización en un monitor de PC. Queda excluido el tráfico de vídeo P2P, por quedar agrupado en su propia categoría (no hay que obviar que el 70-80% del tráfico P2P es de intercambio de vídeo, como ya comentamos en el tráfico FileSharing).

La mayor parte del vídeo visto en el PC es de corta duración, y su contenido más común son los vídeos generados por usuarios, video-clips, capítulos de series de TV y otros contenidos ofrecidos por productores tradicionales, como estudios de películas o cadenas televisivas.

Un dato revelador del calado de YouTube a nivel mundial entre los usuarios de Internet es la cifra de 4 millones de visitas diarias que registró este mismo año, tras el cierre de Megaupload, ascendiendo un 25% en ocho meses. Si en 2007 los vídeos subidos por los usuarios tenían de promedio 6 horas cada minuto, esta cifra creció vertiginosamente,

pasando desde principios a finales de 2010 de 24 a 35 horas de promedio y hasta 48 horas de vídeo fueron cargadas al minuto de pico. Y sigue creciendo drásticamente, situándose a principios de este año en 60 horas, lo que supone una hora de vídeo subida por segundo.

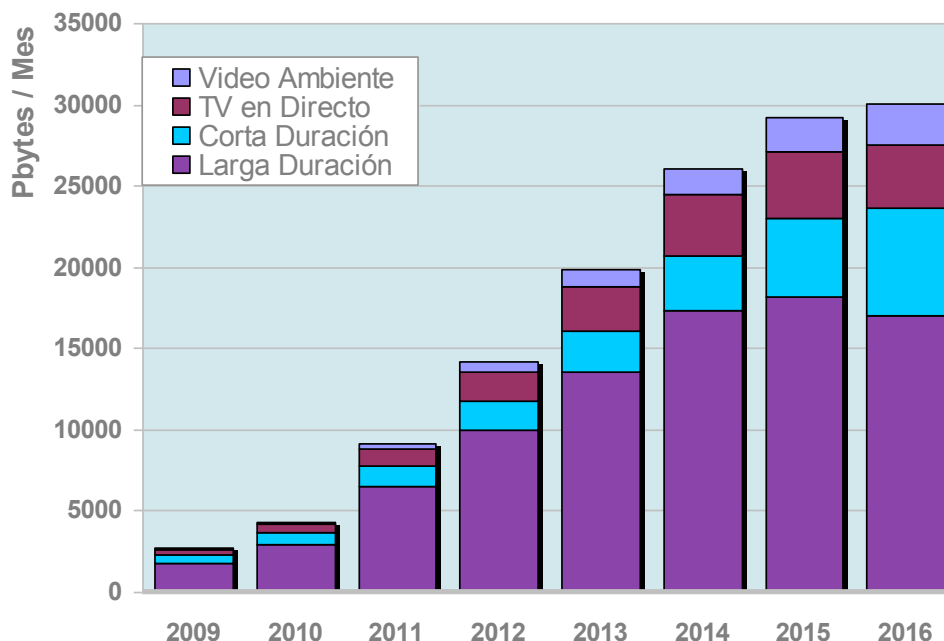
Junto a los vídeos de corta duración (se ha considerado que su duración es inferior a siete minutos), también están, agrupados en la subcategoría de “larga duración”, el resto de vídeos. Esta subcategoría, como podemos ver en la siguiente gráfica, mostrará un desarrollo estancado desde 2014, e incluso, y sorprendentemente, se prevé un proceso recesivo del mismo en el último año del análisis, 2016, si bien es la categoría que más tráfico genera actualmente con un 70% del tráfico, aunque se reducirá para 2016 a un 56%. Hulu es un buen ejemplo de sitio Web que ofrece contenido de lo que podríamos denominar larga duración, como programas de televisión, series o películas de NBC y FOX entre otras emisoras, cuyo servicio se ofrece exclusivamente en EEUU y recientemente en Japón.

El vídeo ambiente o vídeo ambiental hace referencia a las cámaras de vigilancia que retransmiten flujos constantes de vídeo y que pueden ser seguidos por los usuarios de los mismos, como pueden ser las cámaras instaladas en las guarderías para que los padres puedan observar en cualquier momento a sus hijos, o con la misma finalidad, las cámaras de seguridad de hogares, cámaras de control de mascotas, etc. Es el tráfico de esta categoría que presenta una previsión más alta de crecimiento, casi del 60% de media anual entre 2012 y 2016.

Cierra la categoría el vídeo en directo, muy usado para seguir a través del PC sobre todo eventos deportivos, ofertados por las emisoras de TV a través de sus Webs usualmente, mediante protocolo P2P. En España por ejemplo, pueden seguirse eventos como partidos de la Liga, la Fórmula 1, el mundial de motociclismo o Roland Garros desde hace varios años a través de Internet, a través de las páginas Web de las emisoras propietarias de los derechos de retransmisión de dichos eventos. Su crecimiento entre 2012 y 2016 no superará el 33% anual, presentando como ocurre también con otras componentes de vídeo, una previsión de retroceso en el crecimiento poco significativo para finales del período de análisis.

Centrándonos ya en el tráfico más general de esta categoría, podemos afirmar que el de Internet a PC es el tráfico más importante dentro del vídeo de Internet en cuanto a cantidad de datos, moviendo actualmente entorno al 85% de todo el tráfico de vídeo

generado en Internet, más de 14 EB. Se prevé un crecimiento medio anual de un 28% en el período 2012-2016, donde a pesar de perder peso hasta el 68% de tráfico de vídeo Internet, moverá más de 30 EB en 2016.



**Figura 23. Vídeo de Internet a PC**

Elaboración propia basada en [19], [18] y [17]

### Vídeo de Internet a TV

Esta categoría aúna todo el tráfico de vídeo que es visualizado en un TV y que viaja a través de Internet (excluye el IPTV), es decir, el tráfico de las TV con servicios de contenidos, las videoconsolas con conexión a Internet como la Play Station 3 o la Xbox360, el de PC conectado TV o de *Internet Set-Top-Box* (Apple TV, Roku, Plex, Boxee...)

Como comentábamos en la parte de vídeo a Internet, existen servicios de vídeo Internet a TV donde los fabricantes de TV alcanzan acuerdos con empresas de distribución de contenidos vía Internet, como es el caso del servicio Google TV, que lanzaron al mercado los fabricantes Sony y Logitech, si bien este último abandonó el proyecto debido a sus pérdidas económicas. La segunda versión de la plataforma interactiva de contenidos Google TV la están llevando a cabo en sus TV de última generación nuevamente Sony, junto a LG y Samsung, entre los más destacados.

Y como novedad, se prevé que entre en 2013 el nuevo servicio OTT (*Over The Top*) tanto de Canal Plus, llamado Yomvi para dispositivos móviles, al igual que el servicio de TV de Orange (OrangeTV), que también da un paso adelante y comercializa un servicio fuera de



su *walled garden*, a través de Internet (de nuevo OTT). Además este servicio será multidispositivo y no sólo se podrá disfrutar en la pantalla de TV, sino en PC, tablet o smartphone.

Como curiosidad, existen aplicaciones para smartphones de control remoto para los TV que ofrecen servicios de contenidos, para poder ser controlado mediante dispositivos móviles (tanto para Android como para iPhone).

Pero no es ni mucho menos Google TV el único servicio que permite a los usuarios disfrutar de contenidos de vídeo, e incluso multimedia en general a través del TV.

Los nuevos PVR (*Personal Video Recorder* o DVR, *Digital Video Recorder*), o más bien los *Internet PVR*, son dispositivos interactivos de grabación de vídeo en formato digital. Se podría considerar como un *set-top-box* más sofisticado porque tienen la capacidad de grabar contenidos a través de la Web, para posteriormente ser visualizados en la pantalla de TV.

Un PVR consta de una parte hardware, que es básicamente un disco duro, donde se almacenarán las grabaciones, junto con una parte de circuitería que gobierne el disco al antojo del usuario. La parte software, ofrece al usuario información de EPG (*Electronic program guides* o guía electrónica de programas) y búsqueda de contenidos, junto al programa de gestión de los contenidos: permite funcionalidades de grabación retroactiva, grabación auxiliar o pase de temporada entre otras [3.PVR].

En el mercado existen diferentes modelos, y se prevé que tengan una cada vez mayor aceptación por los usuarios y en los próximos años gane peso dentro del tráfico de vídeo de Internet a TV.

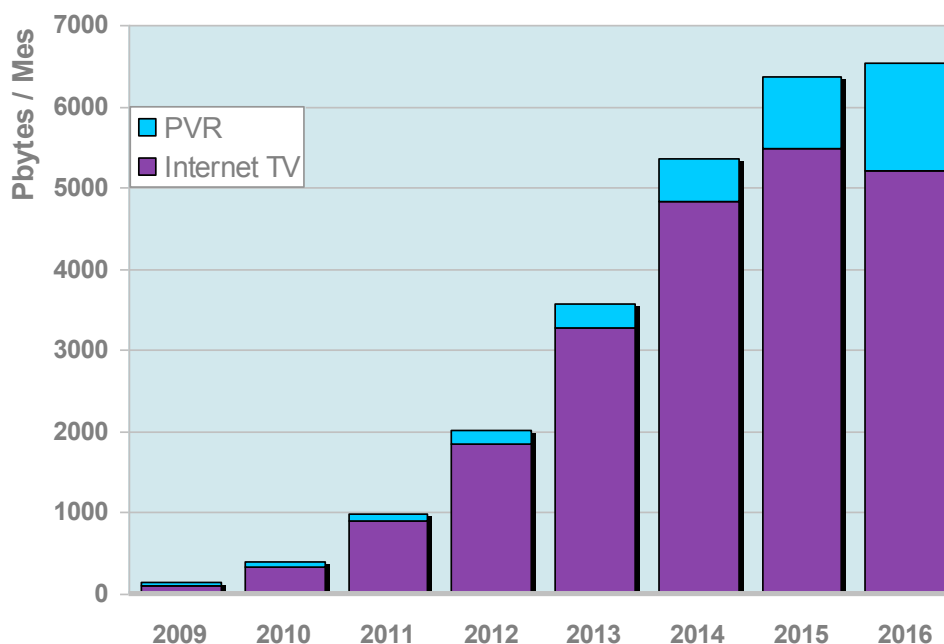
Ejemplos de Internet PVR es el Apple TV, dispositivo que se conecta al TV mediante una toma HDMI, que además de ofrecer las funcionalidades de grabación de contenidos de Internet PVR, reproduce los contenidos demandados por los usuarios ofrecidos en iTunes o YouTube en una definición de hasta 1080p (*Full HD*): películas, fotos, música y un larguísimo etcétera.

En competencia con este último podemos encontrar varios dispositivos, como el fabricado por Western Digital, WD TV Live, además de otros modelos como Flex o Boxee. La mayoría de estos dispositivos presentan conexión WiFi a Internet además de la conexión Ethernet.



**Figura 24. WD TV Live y Apple TV**  
Obtenidas de [26] y [25] respectivamente

Para poder ver la futura evolución del tráfico de vídeo de Internet a TV más detalladamente, hemos agrupado el tráfico de los PVRs por un lado y por otro el resto, en la subcategoría de TV Internet, como podemos apreciar en la gráfica.



**Figura 25. Vídeo de Internet a TV**  
Elaboración propia basada en [19], [18] y [17]

Y es que, como comentábamos una líneas más arriba, el vídeo Internet PVR tiene una previsión de crecimiento por encima del 73% anual medio en el período 2012-2016, frente al 47,5% de la TV Internet, y previsiblemente alcanzará más de 1,3 EB mensualmente para finales de 2016 sobre el total de los 6,5 EB que moverá el tráfico de vídeo de Internet a TV, es decir más del 20% del total. Recordemos que actualmente su ponderación no llega ni al 9%.

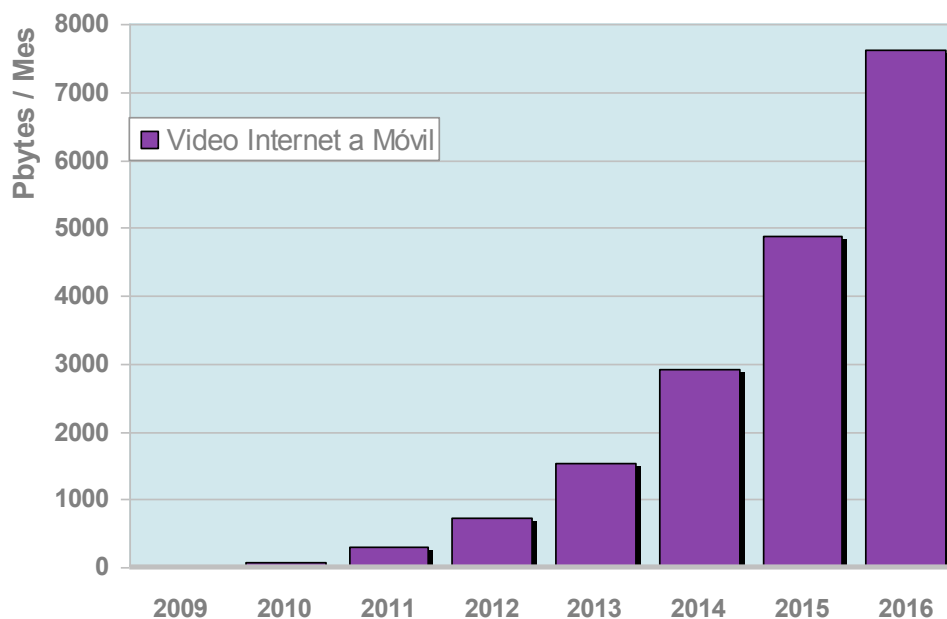
En cuanto a la subcategoría de TV Internet, sufrirá un fuerte desarrollo hasta 2015, donde su crecimiento será más moderado e incluso se espera un retroceso en 2016.

En suma, el 50% del vídeo de Internet a TV crecerá de media un 50% anualmente durante el período de análisis 2012-2016, casi el doble que el vídeo de Internet a PC (CAGR del 28%).

### Vídeo de Internet a Móvil

Esta categoría engloba todo el tráfico de vídeo que viaja sobre redes 2G, 3G y 4G.

El desarrollo que presenta esta categoría de vídeo es muy destacable. En la sección de causas del crecimiento del tráfico, analizaremos por qué la tecnología móvil es una de las palancas de cambio que previsiblemente producirá este fuerte auge, convirtiéndose en un elemento indispensable para el desarrollo del tráfico IP durante los próximos años.



**Figura 26. Vídeo de Internet a Móvil**  
Elaboración propia basada en [19], [18] y [17]

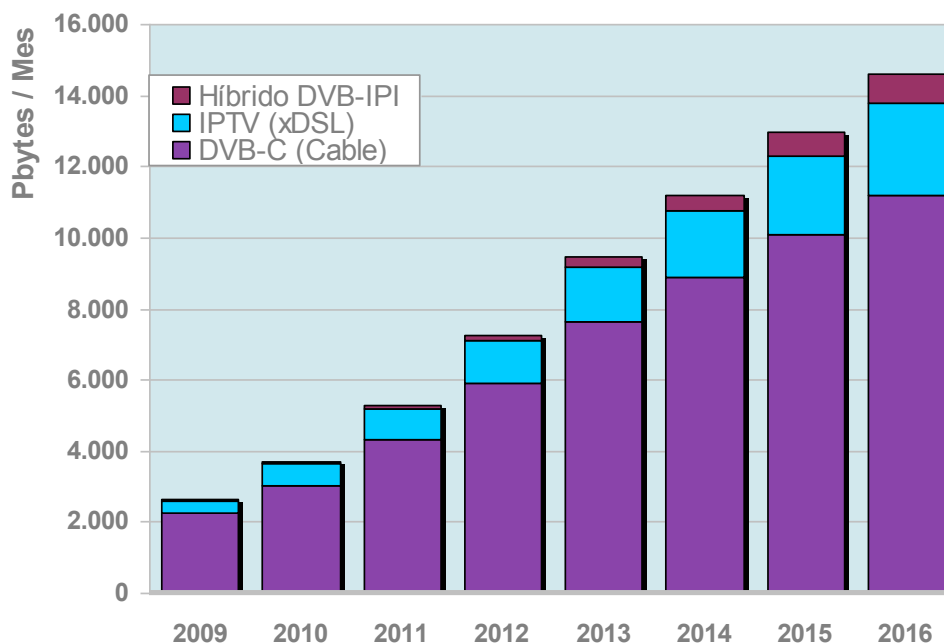
Y es que actualmente el vídeo de Internet a móvil es un terreno con mucho recorrido por delante, donde aún podemos hablar de mercado emergente, dado que en 2009 apenas existía este mercado y el crecimiento anual medio que se prevé durante el período comprendido entre 2012 y 2016 es superior al 92%, es decir que prácticamente se doblará cada año, estableciendo la cuantía total para finales del período analizado de los 7,6 EB

mensuales. Esta cantidad hace que la ponderación para 2016 alcance, previsiblemente, más del 17% de todo el tráfico de vídeo de Internet.

### 3.1.2 Tráfico IP de Vídeo No Internet

El “vídeo IP No Internet” hace referencia al tráfico IP generado por los servicios de TV de las operadoras, que al estar dentro de sus redes propias (*Walled Garden*), no se puede considerar tráfico Internet. En lo que a tráfico de vídeo de las operadoras se refiere, dependiendo de las operadoras, dicho vídeo es entregado al STB del usuario encapsulado en paquetes IP, caso generalmente de las operadoras que usan técnicas xDSL como Telefónica (MoviStar), Jazztel u Orange entre otras, o mediante otro tipo de encapsulado, propio de las operadoras de cable (DVB-C), como Ono o Euskaltel. Existe un tercer tipo de encapsulado, el denominado DVB-IPI, híbrido de los dos anteriores. Es importante aclarar que aunque no todos los tipos de encapsulado mencionados son IP, haremos la pequeña “trampa” de contarlos como tráfico IP, por su trascendencia en primer lugar, y porque realmente lo que nos interesa es analizar la evolución del servicio de TV, independientemente del encapsulado que se use actualmente.

Además, queda también recogido en esta categoría el tráfico generado mediante el servicio de VoD.



**Figura 27. Tráfico IP de Vídeo No Internet**  
Elaboración propia basada en [19], [18] y [17]

Una de las cosas que más llama la atención al observar la gráfica anterior es que el vídeo producido por las operadoras de cable (vídeo DVB-C) es prácticamente cinco veces superior al producido por el vídeo IPTV, y es que no hay que olvidar que estas estadísticas de previsión de crecimiento son a nivel mundial, no sólo en España, donde predominan las tecnologías xDSL frente a las redes de cable.

Por otro lado, la previsión de crecimiento anual durante el período 2012-2016 del vídeo IP no Internet es, de media, aproximadamente un 23%. Este crecimiento es ahora más pronunciado, suavizándose progresivamente según avanza el período de análisis.

El desarrollo del vídeo IP no Internet será comparativamente más lento que el dado en el vídeo IP Internet en el período de análisis, dado que este último crecerá a un ritmo anual medio del 34%.

El mayor desarrollo de este mercado se dará en América Latina con un CAGR del 65%, muy por encima del resto de regiones, y donde Norte América establece el menor de los crecimientos por debajo del 20%.

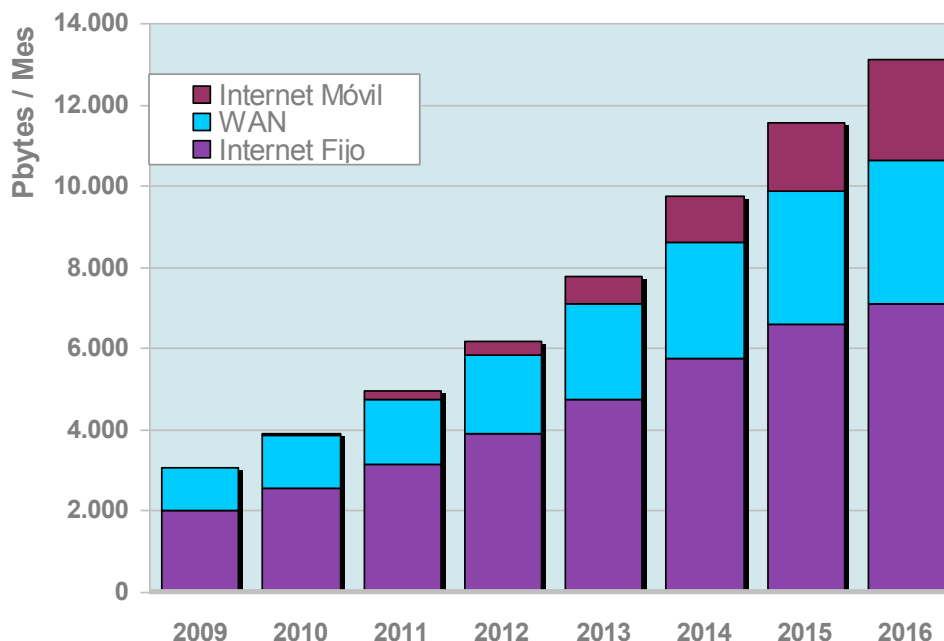
### **3.2 Tráfico Empresarial**

Tiene dos vertientes: el tráfico de Internet Empresarial y el tráfico WAN IP empresarial. La primera, agrupa el tráfico empresarial que atraviesa la Internet “pública”. La segunda, aglomera todo el tráfico empresarial que es transportado sobre IP, pero permanece en la WAN corporativa, es decir, en la red de la propia empresa o más habitualmente mediante una red privada virtual, RPV (mas conocida por sus siglas en inglés VPN) sobre las redes de las operadoras, excluyendo las transferencias de backup.

La previsión empresarial está basada en el número de ordenadores unidos por red en todo el mundo. Esto proporciona la medida más exacta del uso de datos de la empresa. Un usuario empresarial medio podría generar 4 gigabytes por mes de tráfico de Internet y WAN. Un usuario de una gran empresa enorme generaría considerablemente más tráfico, de 8 a 10 GB por mes.

El tráfico empresarial Internet supone dos tercios del tráfico empresarial total, el cual puede subdividirse en tráfico Fijo y Móvil, este último aún con poca presencia, pero del que se espera un importante crecimiento del 66% durante el período 2012-2016, unas 3,5 veces superior tanto al crecimiento del tráfico empresarial fijo como al WAN. Esto hará que para 2016 el tráfico móvil empresarial suponga casi el 20% del total, con casi 5,5 EB mensuales, frente a los 7,1 y 3,5 EB del fijo y el WAN respectivamente.

En todo caso, nuestra área de interés se centra en el tráfico residencial, no en el empresarial, por lo que no profundizaremos en este mercado más de lo que aquí puede reflejarse, lo cual nos ayuda a mantener una visión global del crecimiento de tráfico IP.



**Figura 28. Tráfico Empresarial**  
Elaboración propia basada en [19], [18] y [17]

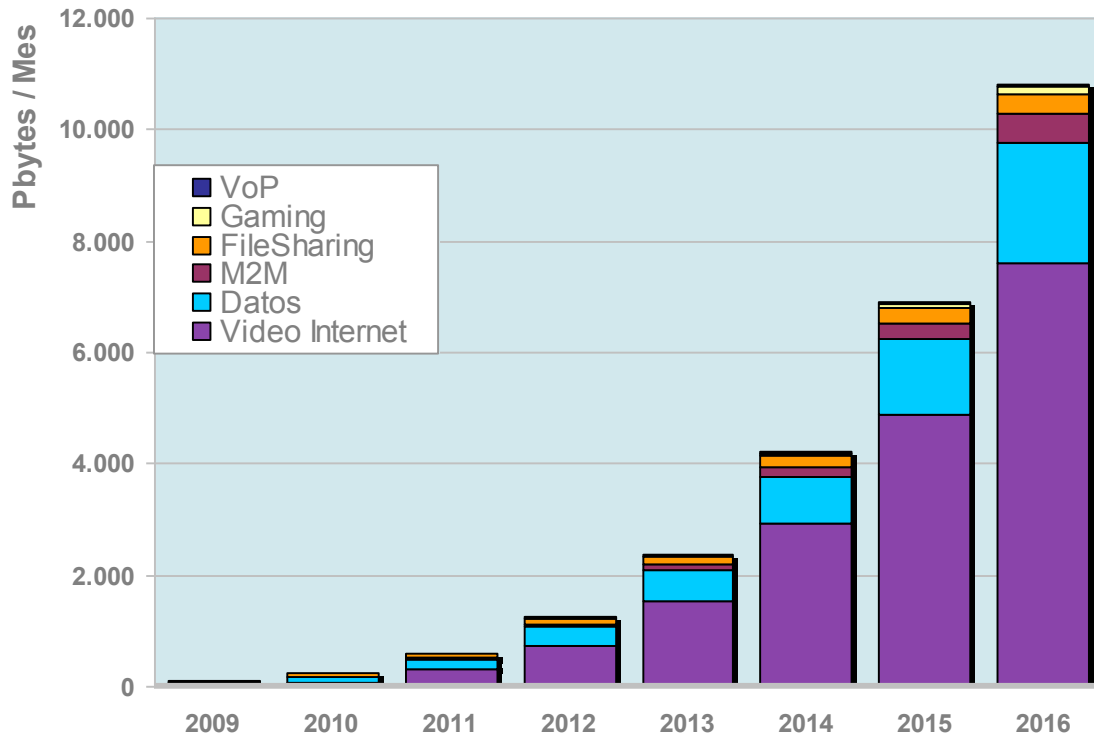
### 3.3 Tráfico Móvil

Transversalmente al tráfico IP Residencial y Empresarial se encuentra el tráfico IP móvil, como hemos podido ver ya en el desglose de previsión de tráfico visto hasta ahora. Vamos aquí, por tanto, a focalizar la atención sobre este tráfico, y reunificar todos los aportes que el tráfico móvil realiza a cada una de las categorías de tráfico que hemos ido viendo, de este gran mercado en auge.

El tráfico de datos móviles está compuesto del tráfico de Internet móvil, que es generado por tarjetas inalámbricas para ordenadores portátiles y del uso de Internet en el teléfono móvil o cualquier otro dispositivo que haga uso de las redes móviles.

El volumen que genera actualmente (en 2012) es superior a 1,2 EB/mes, con un crecimiento medio previsto hasta 2016 cercano al 80%, lo que elevará su volumen a finales del período de estudio en 10,8 EB mensuales.

El desarrollo de este mercado no tendrá grandes diferencias regionales, comprendidas entre el 68% y el 85%, a excepción de Oriente Medio y África, donde el crecimiento será bastante por encima de estas cifras, rondando el 104% de crecimiento medio anual.



**Figura 29. Tráfico Móvil**  
**Elaboración propia basada en [19], [18] y [17]**

Cabe destacar, dentro de las diferentes componentes del tráfico móvil, el gran peso que tiene el vídeo Internet, actualmente con un 58% del total, pero además, es la categoría con mayores previsiones de crecimiento medio anual hasta 2016 por encima del 92% de CAGR, lo que provocaría que su ponderación aumentase a finales de ese año hasta valores cercanos al 70%.

Por otro lado, a no ser que las previsiones no se cumplan, el tráfico de VoIP se mantendrá con un bajo crecimiento anual medio, en comparación con el resto de categorías, de tan sólo el 36%, y con un peso realmente poco significativo, inferior a al 0,5%.

Es en este punto donde las previsiones de Cisco chocan con las realizadas por Morgan Stanley, que auguraban, en 2010 una participación más alta del tráfico VoIP en el conjunto, cercano al 5%. Eso sí, hay que recordar que esta previsión de Morgan Stanley fue realizada anteriormente, con lo que puede dar lugar a mayores variaciones de sus previsiones, pero cabe desatacar que los valores ponderados de las categorías con gran

presencia en el tráfico móvil, estas son Vídeo Internet, Datos y FileSharing, son tremendamente parecidas a las ofrecidas por Cisco este mismo año. Además, el valor cuantificado del tráfico previstos por Morgan Stanley para 2014 es parecido al previsto por Cisco, de 3,4EB/mes y 4,2 respectivamente. Por ejemplo, en este punto distan mucho estas previsiones con las realizadas por Analysys Mason, cuya previsión para ese mismo año sube por encima de los 12 EB.

### 3.4 Causas del crecimiento del tráfico

Hasta ahora hemos visto cómo, más o menos, se desarrollará el tráfico tanto de banda ancha fija como móvil, teniendo siempre presente que son previsiones y que, por tanto, hay que tratar los datos como tal. Pero este desarrollo se basa precisamente en una serie de cambios que se están produciendo o se producirán en poco tiempo, junto a ciertas mejoras tecnológicas que permitirán aumentar las velocidades de conexión de banda ancha.

Estas “palancas” de cambio, o drivers en inglés, son de diversa naturaleza y vamos a ver las principales por las que apuestan los expertos tecnológicos, divididas en drivers BAM y BAF, para extraer finalmente unas pequeñas conclusiones.

#### 3.4.1 Drivers BAM

##### *Diversidad y mejora de terminales*

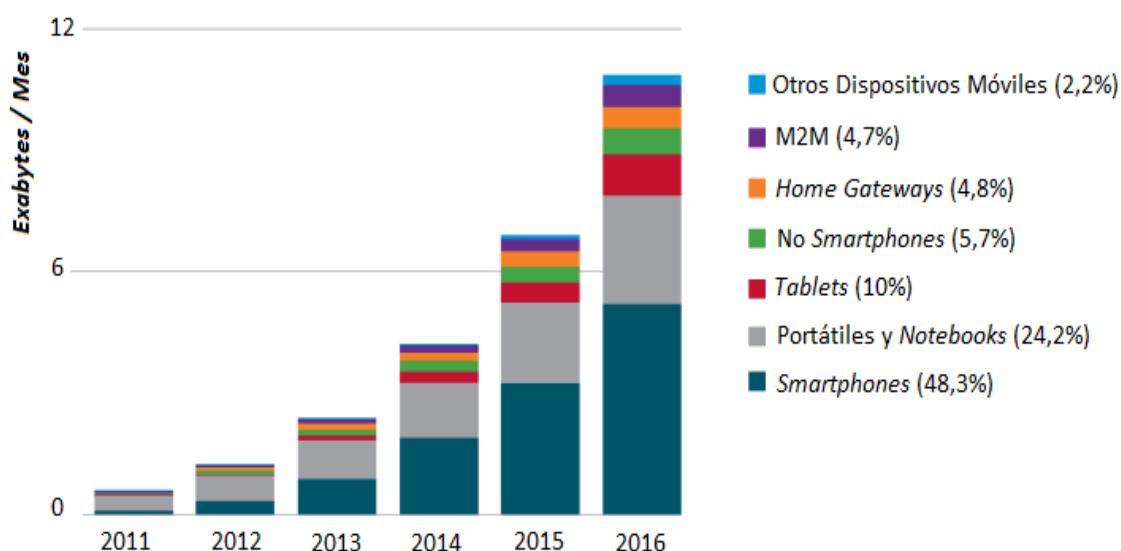
Uno de los elementos clave que permitirá el desarrollo del tráfico IP móvil será las nuevas funcionalidades y características con las que están dotados los “nuevos” terminales, los smartphones, con capacidades de RAM, memoria interna, definición de pantalla y ciclos de trabajo del procesador que superan a los ordenadores que hace poco tiempo ocupaban un escritorio. Esto mismo se puede hacer extensible a las tablets, cuyo tráfico medio es, dependiendo de la fuente, entre 121 (según Cisco) y 500 veces (dato de Analysys Mason) superior al generado por un terminal móvil básico. Además, no son los únicos dispositivos del mercado que se han renovado. También existen libros electrónicos y videoconsolas que hacen uso de las tecnologías inalámbricas para acceder a Internet.

Si además añadimos los últimos modelos de smartphones de bajo coste y la irrupción en el mercado de nuevas marcas, sobre todo chinas (caso de ZTE y Huawei), resulta una combinación realmente atractiva para el usuario móvil, donde desde unos 100€, si hablamos del mercado español, hasta donde sus pretensiones y presupuesto le permitan



(los smartphones de gama más alta, con procesadores de cuádruple núcleo, rondan los 700€), puede encontrar una grandísima variedad de terminales que le permiten navegar por Internet, consultar el correo electrónico (entre otras muchas tareas) y disfrutar de contenidos y aplicaciones en cualquier lugar y en cualquier momento. Así, la proliferación de este tipo de dispositivos no se ha hecho esperar, y es una realidad la progresiva sustitución de los “viejos” terminales móviles, cuyo tráfico medio es 50 veces inferior al generado por un smartphones (dato de Analysys Mason para Reino Unido en 2010, o 35 veces inferior según Cisco).

Los portátiles y los smartphones siguen liderando el crecimiento del tráfico móvil, generando una contundente cantidad de tráfico, si bien las nuevas categorías, como los tablets y los dispositivos M2M comenzarán a ponderar una cada vez más significativa porción del tráfico hacia 2016.

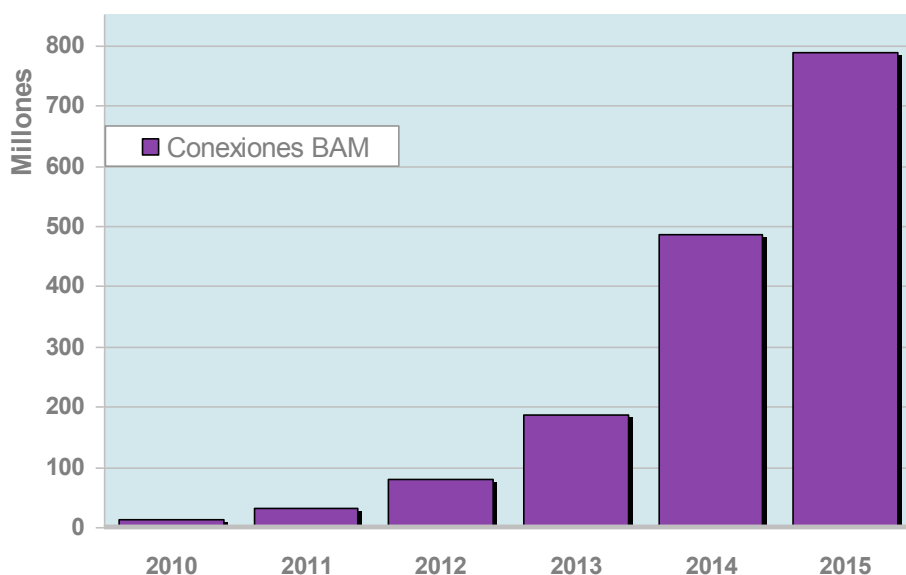


**Figura 30. Diversidad y mejora de terminales**

**Elaboración propia basada en [21]**

#### *Más dispositivos y mayores tasas de tráfico por dispositivo*

A finales de 2012 el número total de terminales móviles será mayor que el número total de habitantes del planeta, según Morgan Stanley. Este dato relevante pone de manifiesto la gran cantidad de terminales móviles que existen ya actualmente además de los adeptos que van adhiriéndose al uso móvil de Internet. De hecho, se prevé que en 2014 el número de usuarios móviles de Internet sobrepase el de los fijos. En la siguiente gráfica podemos observar la evolución del número de conexiones BAM hasta ahora y la previsión de Cisco hasta 2015 [20].



**Figura 31. Número de conexiones BAM**  
Elaboración propia basada en [20]

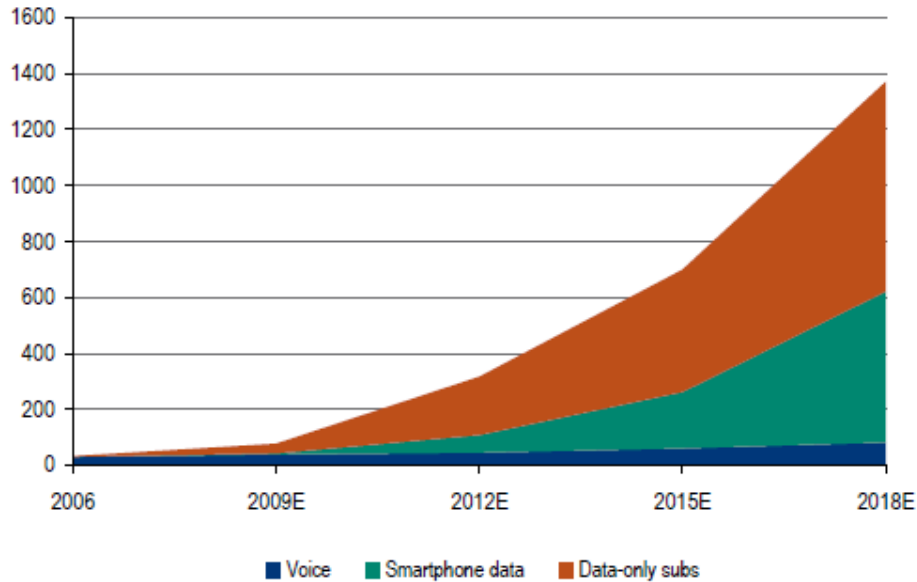
Viendo la previsión, tanto del tráfico BAM como del número de conexiones BAM, podemos deducir que el tráfico crecería más rápido que el número de clientes, es decir, que no sólo crece el tráfico porque entran nuevos usuarios, sino que crece la cantidad de datos utilizada por cada usuario.

Para verlo de forma más concisa, en la siguiente tabla se muestra cómo se prevé, por parte de Cisco, el desarrollo del mercado de los terminales móviles, con las tasas medias de crecimiento tanto de usuarios como de datos.

**Tabla 4. Crecimiento de Uso de Dispositivos Móviles**  
Elaboración propia basada en [3.CISCO\_M2]

Crecimiento de Uso de Dispositivos Móviles (MB / Mes)					
Tipo de Dispositivo	2010	2011	2016	Crecimiento en Usuarios, 2011-2016 CAGR	Crecimiento en Datos Móviles, 2011-2016 CAGR
Smartphone	55	150	2.576	24%	119%
Videconsola Portable	244	317	1.056	56%	76%
Tablet	405	517	4.223	50%	129%
PC Portátil y Notebook	1.460	2.131	6.942	17%	48%
nodo M2M	35	71	266	42%	86%

Así, en la siguiente gráfica podemos ver la evolución de la media de datos consumidos por cada usuario en Europa hasta 2018, según las previsiones de Merrill Lynch [22], en MB/mes.



**Figura 32. Evolución de la media de datos consumidos por cada usuario en Europa**  
Obtenida de [22]

Este aumento de la tasa media de uso por cliente se basa en una serie de justificaciones, de las cuales, las siguientes son las principales:

- Debido al incremento de velocidad de conexión de la red, se incrementará la tasa media de contenido al que acceden los usuarios a través de las redes móviles. El vídeo de alta definición será mucho más significativo, y la ponderación del contenido *streaming* se elevará respecto al contenido de transferencia de descarga (*side-loaded* en inglés, técnica por la que en un terminal móvil se instalan aplicaciones sin usar el servicio oficial de descargas, generalmente desde el PC, con la finalidad de aprovechar la mayor velocidad de descarga de las redes fijas respecto a las móviles) al incrementarse la velocidad media de conexión de la red móvil.
- El cambio hacia el vídeo bajo demanda (VoD de sus siglas en inglés) afectará a las redes móviles de la misma forma que afectará a las fijas. Además, el tráfico podría crecer enormemente incluso si la cantidad de tiempo empleado por los usuarios en ver vídeo permaneciese relativamente constante, por el aumento de datos que conlleva el aumento de calidad del contenido.

- En base a la mejora de la capacidad de la red y del crecimiento del número de usuarios multidispositivo, las operadoras probablemente ofrecerán paquetes de banda ancha móvil comparables, tanto en precio como en velocidad, a los de banda ancha fija. Esta es una alentadora sustitución progresiva de la banda ancha fija por la móvil, donde el perfil de uso es sustancialmente más alto que la media.
- Los dispositivos móviles incrementan, cada vez más, el tiempo individual que cada uno de éstos permanece conectado a la red, debido a las aplicaciones emergentes, como los servicios basados en localización, juegos exclusivos para terminales móviles vía Web y demás aplicaciones comerciales, lo que producirá un aumento en la tasa de minutos conectados por usuario. Este nuevo tráfico no se puede atribuir a la migración de tráfico BAF a BAM, dado que es intrínseco de redes móviles (no existía este tráfico en la red fija, y en gran medida, no podría existir, sobre todo por la necesidad de ubicuidad que requiere).

Y en cuanto al crecimiento del número de nuevos dispositivos, resulta interesante conocer la tendencia al alza de los dispositivos que interactúan con otros dispositivos, es decir, la tecnología M2M (machine to machine), como son las comunicaciones móviles entre nodos, sensores o, de forma más genérica, entre objetos, que lideran el crecimiento M2M.

Dado que el uso de tecnologías M2M se está extendiendo por muchas ramas de la industria, vamos a conocer las principales utilidades que están generando el crecimiento de dicho tráfico:

- Vigilancia y seguridad tanto de empresas como de particulares, generalmente mediante *video-streaming* en tiempo real, como las cámaras de seguridad, cámaras en las guarderías o de vigilancia de animales mediante el teléfono móvil.
- Atención sanitaria o *esalud* es una de las aplicaciones más útiles tanto para médicos como para enfermos en el campo de la medicina, puesto que evita visitas rutinarias al hospital por parte del paciente para realizar test de control de enfermedades crónicas, mediante el envío telemático de los datos obtenidos por el paciente en su propio hogar. Además, la industria *fitness* y del deporte ocupa también un hueco importante en este campo, con entrenadores virtuales y entrenamientos hechos a medida del deportista.

- La asistencia en viaje y navegación, junto a la gestión de vehículos están ganando un importante número de consumidores, como por ejemplo, la recepción de señal de datos móvil en el automóvil y su posterior distribución hacia sus ocupantes vía WiFi, de forma que éstos puedan disponer de conexión a Internet desde su dispositivo móvil concreto durante un trayecto en el vehículo.
- El envío de medidas realizadas periódicamente por una estación meteorológica, o la gestión de stock de una simple máquina expendedora, por poner unos ejemplos, son otras de los muchos dispositivos que generan tráfico M2M.

Este tipo de tráfico crecerá notablemente entre 2011 y 2016, hasta multiplicar por 22 su cuantía a nivel mundial, acompañado de una evolución técnica, la tecnología IPv6, que solventa un gran problema al que se estaba enfrentando la industria para dotar a todo equipo de su indispensable dirección IP y poder así navegar por la Red, producto del agotamiento de dichas direcciones en la versión 4 del protocolo.

#### ***Nuevos servicios para el usuario móvil***

Como un circuito retroalimentado, el aumento de ventas de terminales móviles inteligentes, o mejor dicho, de altas prestaciones (al menos respecto a los terminales móviles más habituales antes de la aparición de los *smartphones*, en cuanto a telefonía móvil se refiere), en suma al auge del uso de tarifas de datos por parte de los usuarios, ha venido de la mano de la aparición previa de servicios y aplicaciones interesantes y/o llamativos para los usuarios. Ahora, estos hechos son los que están animando al mundo empresarial de este sector a potenciar un mercado con gran capacidad de crecimiento, con nuevas inversiones que se ven directamente reflejadas en la aparición de nuevas aplicaciones y servicios que satisfagan tanto las nuevas necesidades de los usuarios como las expectativas económicas del proveedor de servicios.

Vamos a ver a continuación los servicios que sin lugar a dudas estas participando, y seguirán haciéndolo durante los próximos años, en el fuerte crecimiento del tráfico de banda ancha móvil.

#### **Vídeo móvil**

Debido a que los contenidos de vídeo tiene una tasa binaria mucho más alta que otros tipos de contenidos, el vídeo móvil generará gran parte del tráfico móvil hasta 2016, que como ya vimos en el análisis de las previsiones de tráfico, tendrá una tasa de crecimiento

por encima del 90% anual, y ponderando el 58% actual del tráfico móvil. Para más detalles de las previsiones, en las secciones previas tanto de tráfico móvil como de vídeo Internet encontraremos más información.

Los contenidos de vídeo más visualizados mediante el terminal móvil son de YouTube, y cada vez más y más operadores de TV están introduciendo servicios bajo demanda de su programación a través de la Red. Otras aplicaciones de TV móvil, como iPlayer de la BBC, están experimentando fuertes crecimientos. Además los futuros avances tecnológicos en redes móviles podrán cubrir la demanda de vídeos de alta definición (LTE y LTE Advance).

### **Nube móvil y otros servicios asociados.**

La tendencia encaminada a almacenar contenidos, como fotos o vídeos en *la nube* (Cloud en inglés) conducirá al crecimiento de tráfico, sobre todo de subida, desde los terminales móviles.

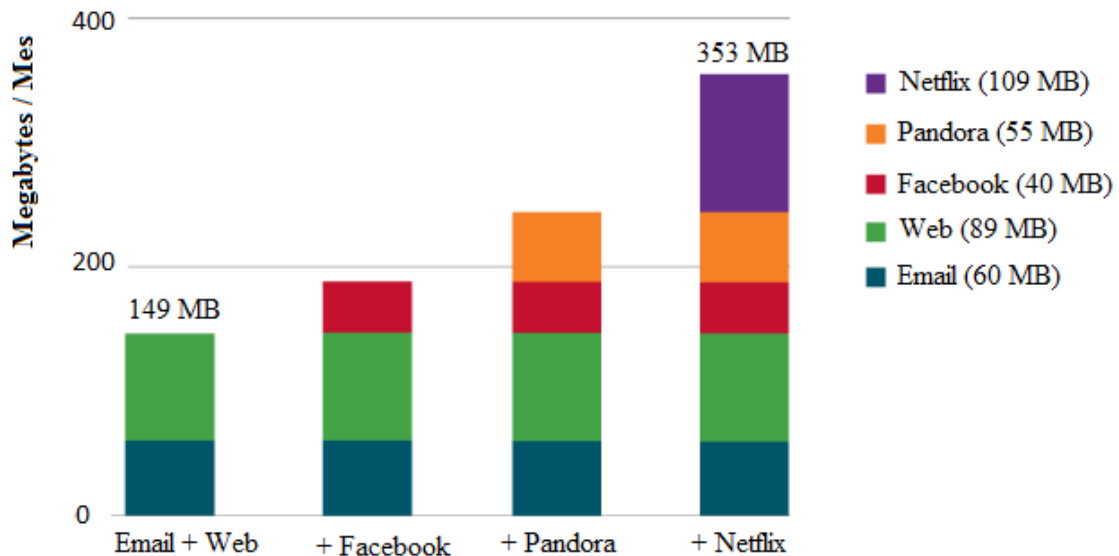
Los dispositivos móviles tienen limitaciones de memoria y de velocidad de proceso que podrían no hacerlos aptos para consumo de contenidos multimedia, si no fuese por los servicios y aplicaciones de *la nube*, tales como Netflix, YouTube, Pandora, Spotify, DropBox y un largo etcétera.

De los servicios que acabamos de comentar, tanto Pandora como Spotify, al que se le pueden sumar GrooveShark y otros muchos, son servicios de streaming de música. Se trata de un servicio de fondo, que puede permanecer activo durante largos ratos e incluso horas, lo que le sitúa como un servicio de altos requisitos de ancho de banda, incluso cuando sea posible bajar la calidad de la señal de audio y por tanto baje el caudal de datos, seguirá generando un volumen de tráfico significativo.

A este fenómeno se asocia el de otros servicios que ofrecen capacidad de almacenamiento, como son las redes sociales. Aisladamente no son generadores de grandes cantidades de tráfico ni mucho menos, pero combinado con el almacenamiento en la nube de vídeos y fotos de los usuarios, *linkar* enlaces hacia vídeos bajo demanda (por ejemplo de la archipopular Web YouTube) tiene el potencial de arrastrar consigo significativos niveles de tráfico. El crecimiento de uso de las redes sociales en las redes móviles es muy importante, en gran parte por la capacidad ubicua del terminal móvil, y para hacernos una idea, Facebook en junio del año 2011 informó que tenía en activo más de 250 millones de cuentas de usuario accediendo a sus servicios a través de de redes

móviles, partiendo de 200 millones seis meses atrás. Si hablamos de Twitter, con más de 25 millones de usuarios, la mitad acceden mediante un terminal móvil, frente a la cuarta parte que lo hacía un año atrás.

Estas *cloud*-aplicaciones permiten al usuario móvil superar las limitaciones que los dispositivos tienen, de manera que un usuario con un smartphone con 8 GB de memoria física que realiza streaming de vídeo y música en la nube consumirá más contenido al cabo de dos años que lo que es capaz de almacenar el dispositivo, y esto contando con la premisa de usar exclusivamente redes móviles, dejando a un lado el consumo WiFi. El tráfico generado por un smartphone cuyo usuario utiliza Netflix, Pandora y Facebook generará el doble de volumen de tráfico que otro usuario que sólo utiliza el correo electrónico y las aplicaciones Web.



**Figura 33. Tráfico móvil generado por aplicaciones multimedia en la nube**  
Obtenida de [21]

Como gran parte de las aplicaciones de vídeo Internet se pueden considerar aplicaciones *cloud*, el crecimiento de esta categoría seguirá, por tanto, el patrón de crecimiento del tráfico, por ser su parte principal el vídeo.

Globalmente las aplicaciones de la nube ponderarán el 71% del tráfico móvil a finales de 2016, respecto al 45% del peso total que tenía a finales de 2011. Crecerá, por tanto, a un ritmo medio anual del 95%, por lo que cada año casi doblará su volumen de tráfico. Entre 2011 y 2016 el volumen de tráfico de la nube se multiplicará por 28, alcanzando a finales de este período los 7,6 EB mensuales.

**Velocidad de conexión y Mejoras tecnológicas (4G)**

Globalmente, la velocidad media de conexión en las redes móviles fue de 315 Kbps durante 2011. Esta velocidad presenta una previsión de crecimiento medio anual del 56% hasta 2016, lo que alzaría la velocidad media casi hasta los 3 Mbps. Centrándonos en los smartphones, su velocidad media de conexión es actualmente cuatro veces superior a la media global, y para 2016 se prevé que se eleve su velocidad media de conexión hasta los 5,2 Mbps, velocidad que multiplicaría por cuatro la actual.

Y un incremento en la velocidad conlleva una clara consecuencia: un mayor uso. Cuando un usuario dispone de mayor velocidad de conexión, el hecho de tener que esperar menos tiempo la información solicitada, como puede ser en el caso de una consulta en la Web, genera una mayor satisfacción en él, acrecentando su apoyo a realizar más consultas, de forma inmediata o próxima. Además, está demostrado que transcurre un período de tiempo desde la mejora en la velocidad hasta el aumento de datos en la red que éste produce, variando este período entre pocos meses y algunos años. Dicho desfase es más acentuado en países más desarrollados, seguramente con velocidades más aceptables antes de la aparición de la mejora, respecto a países en pleno desarrollo tecnológico, donde la mejora de velocidad no se hace esperar por parte de los usuarios. Podemos ver el reflejo de las previsiones de aumento de velocidad en la tabla 5.

**Tabla 5. Velocidad media de conexión de red móvil**  
Elaboración propia basada en [21]

Velocidad media de conexión de red móvil (kbps)								
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	CAGR 2012–2016
<b>Velocidad Global</b>								
Todos los terminales	189	315	504	792	1.236	1.908	2.873	56%
Smartphones	968	1.344	1.829	2.425	3.166	4.102	5.244	31%
<b>Por Geografía</b>								
Asia - Pacífico	219	337	497	732	1.101	1.697	2.608	51%
América Latina	50	125	227	396	673	1.082	1.627	67%
América del Norte	596	1.138	1.712	2.485	3.531	4.923	6.785	43%
Europa Occidental	431	667	1.196	1.967	2.960	4.163	5.549	54%
Europa Central y del Este	126	205	396	739	1.316	2.228	3.476	77%
África y Oriente Próximo	52	89	206	434	850	1.555	2.618	98%

Un factor fundamental para el aumento de la velocidad en las redes móviles es el incremento de las conexiones 4G (WiMAX móvil y *Long-Term Evolution*, LTE). El impacto



de las conexiones 4G es significativo en el tráfico, debido a que generan una cantidad de tráfico móvil desproporcionada, gracias sobre todo al significativo abanico de mejoras en el funcionamiento y en la eficiencia de las redes móviles que introduce LTE, operativo por primera vez desde Junio de 2011. Y es que, aunque actualmente las conexiones 4G tan sólo representan el 0,2% de las conexiones móviles, generan el 6% del tráfico móvil total. En 2016 su ponderación aumentará hasta el 6%, lo que elevará su porción de tráfico móvil hasta el 36%.

Actualmente una sola una conexión de tipo 4G es capaz de generar la misma cantidad de tráfico equivalente a 28 conexiones de otro tipo. Para que suceda esto, hay principalmente dos razones. La más obvia, es que quien actualmente posee una conexión 4G suele ser un usuario residencial de banda ancha con PC portátil, con una alta media de uso. La segunda razón, es que el uso de una velocidad de conexión más alta fomenta el uso de aplicaciones que requieren mayores anchos de banda, hasta el punto de generar, un modelo concreto de smartphone, un 50% más de tráfico en una red 4G frente a al generado en una red 3G o 3,5G por el mismo modelo. Eso si, según vaya creciendo el número de conexiones de los smartphones en redes 4G, estas serán compartidas, y la distancia en tráfico medio entre una conexión 4G y una que no lo sea irá estrechándose, pero a pesar de todo, se espera que en 2016 una conexión 4G genere 9 veces el tráfico de una conexión que no sea 4G.

#### ***Nuevo modelo de tarificación: Tiered price***

Un creciente número de proveedores de servicios móviles están cambiando las más clásicas tarifas planas ilimitadas de consumo de datos móviles hacia las tarifas escalonadas (o segmentadas), basadas en franjas de consumo de tráfico de datos, las *tiered pricing*, que se adaptan a las necesidades de los clientes en función de su perfil de consumo.

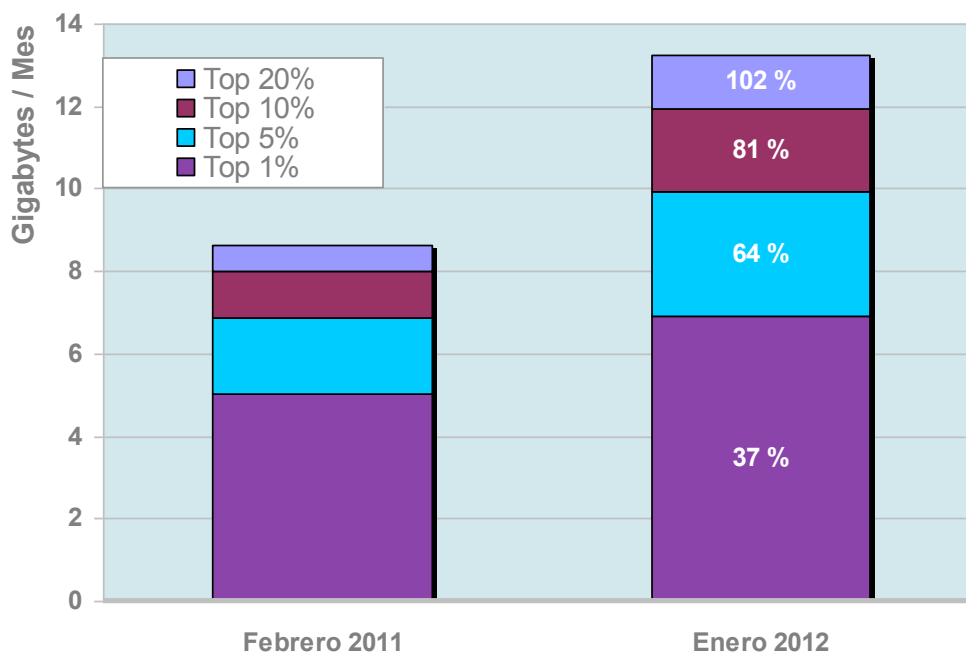
Durante el período que abarca prácticamente los dos últimos años, el porcentaje de tarifas escalonadas, dentro del total de tarifas, se ha incrementado desde el 4% hasta el 29%, mientras que las tarifas planas sin límite han caído desde el 81% hasta el 63%. Sin embargo el hecho del gran crecimiento de las tarifas escalonadas no ha repercutido en una reducción del consumo de datos medios en cada tarifa, ya que esto ha animado a más usuarios a contratar tarifas que se ajustan más a su uso y su presupuesto, sobre todo en los escalones tarifarios de inferior cuantía. Este hecho se comprende, por ejemplo, con lo poco atractivas que eran las tarifas sin límite para usuarios que usan el móvil para

consultar el correo electrónico y realizar un número moderado de consultas en la Red, quienes evidentemente no sacaban partido a una conexión sin limitaciones, por un precio que no estaban dispuestos a pagar. El crecimiento medio por tarifa escalonada en el último año ha sido desde los 144,3 MB al mes hasta los 388MB por mes, lo que supone 169% de crecimiento, mientras que las tarifas ilimitadas han presentado un desarrollo más moderado del 83%, pasando de 391 MB hasta los 715 MB al mes.

Con estos números, las tarifas escalonadas acortan la distancia en tráfico usado respecto a las tarifas ilimitadas, en gran parte por el aumento general de uso de servicios como Pandora, YouTube, Facebook o Netflix.

Por otro lado, una gran ventaja que presentan las tarifas escalonadas, desde el punto de vista del consumo de datos por usuario, es luchar contra las grandes desigualdades de consumo que se dan entre los usuarios, es decir, que por sus características hacen que los *Heavy Users*, ampliamente estudiados en el epígrafe de Desigualdades de consumo de tráfico entre usuarios, hagan un uso menos intensivo de la Red, por las limitaciones impuestas de reducción drástica de velocidad cuando se supera el umbral de la tarifa. Especialmente el top 1% de usuario pesados de datos móviles son los que han visto más reducida su actividad, pasando de consumir el 52% del tráfico móvil total hace dos años al actual 24% por mes. De forma análoga, aunque menos abrupta, ha descendido el consumo del top 10% de usuarios que más consumen del 83% al 54% del tráfico móvil total.

La consecuencia de la rebaja de consumo de los usuarios más pesados es que ahora el uso del consumo de datos del top 20 % está creciendo mucho más rápido que el top 1%. Podemos verlo gráficamente en la figura 34.



**Figura 34. Crecimiento del consumo BAM en niveles de intensidad**  
**Elaboración propia basada en [21]**

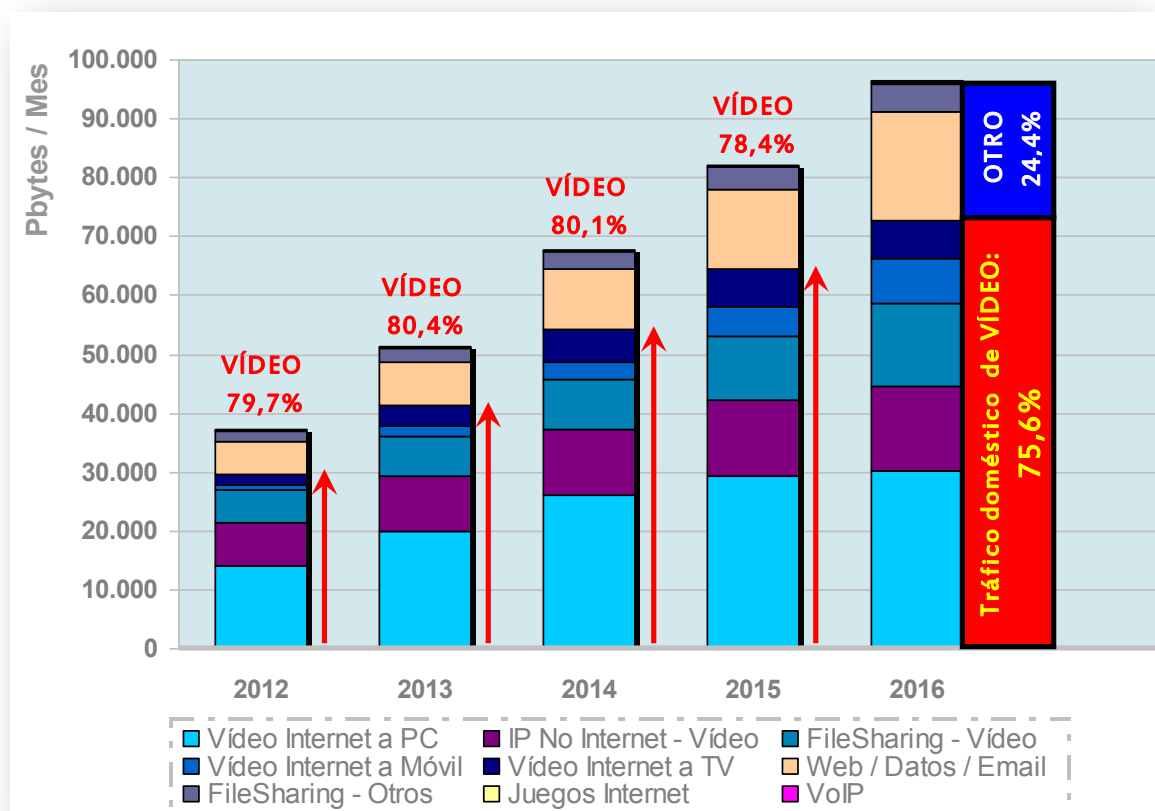
Mientras el top 1% ha crecido entre febrero de 2011 y enero de 2012 un 37%, el top 20% ha crecido por encima del doble, un 102%.

### 3.4.2 Drivers BAF

#### *El Vídeo, factor clave*

A lo largo del anterior análisis sobre cómo evolucionará el tráfico en las redes de telecomunicación se deduce, sin lugar a dudas, cuál va a ser el factor más importante que hará crecer drásticamente el volumen del tráfico global IP: el vídeo, en sus distintas categorías.

La figura 35 muestra de forma muy contundente la aportación del vídeo en el tráfico IP doméstico hasta 2016, con un volumen superior siempre a las tres cuartas partes del tráfico total.



**Figura 35. Previsión del crecimiento del tráfico de vídeo**  
**Elaboración propia basada en [17]**

Sabemos ya de la gran importancia del vídeo en el desarrollo del tráfico IP, lo que nos hace preguntarnos el por qué de dicho crecimiento, es decir, qué motiva al usuario a actuar de la forma que actúa (y actuará) para sentirse tan atraído por el vídeo y cómo lo usan. A continuación vamos a intentar responder a esa pregunta en la medida de lo posible.

### Cambios en las pautas del tráfico de consumo

Fue a finales de 2005 cuando hizo su aparición YouTube, y sorprendentemente el consumo de tráfico procedente de esta Web creció a toda velocidad, alcanzando el 4% de todo el tráfico destinado al (u originado por) usuario residencial a finales de 2006. Su crecimiento siguió en 2007, donde sumó el 20 % del tráfico de vídeo online en Norteamérica.

Como respuesta a este notable desarrollo, muchas operadoras se vieron obligadas a acelerar sus planes para incrementar la capacidad de sus redes. No obstante, Internet no

sufrió colapso alguno bajo la carga de tráfico generada por YouTube, ni hoy por hoy es probable que lo haga.

Más importante que el tráfico que genera, es la nueva forma de comportamiento online del consumidor que YouTube (y otras plataformas de distribución de vídeo online, como Netflix) representa.

El éxito de los sitios como YouTube, Facebook o MySpace pone de manifiesto el matiz social del vídeo. El ocio no es el único propósito del vídeo, ya que además de ofrecer información y proporcionar entretenimiento, el vídeo puede servir como pieza básica para la interacción social o como medio de expresión.

Dada la variedad de matices del vídeo, es difícil decir que “el contenido es el rey”. La palma se la lleva la combinación de comunicación y contenido. Esta combinación ha demostrado ser lo bastante eficaz como para haber logrado que millones de usuarios de Internet comenzasen a hacer algo que no parecía ser precisamente de un gran interés: visualizar vídeo de escasa calidad en un pequeño monitor de ordenador (cuya resolución también era relativamente baja). YouTube no sólo tiene como finalidad ofrecer contenidos, sino que además es una plataforma de interacción social, haciendo que el PC sea la plataforma más conveniente para la interactividad.

Precisamente la falta de interactividad de la televisión tradicional, donde los usuarios no pueden enviar, compartir, recortar o combinar el vídeo, empezaba a producir una pérdida de atractivo para el usuario, a pesar de presentar una calidad mucho más elevada. Por supuesto, el vídeo como puro entretenimiento tendrá siempre su lugar, aunque quizás para generaciones que crezcan con las redes sociales, vean la pantalla de televisión doméstica y la experiencia de vídeo menos interesante de forma aislada.

### **Desglose del vídeo en sus diferentes matices**

En el pasado, los aspectos de la experiencia de vídeo fueron agrupados en una sola plataforma: la televisión doméstica. Actualmente, existe más de una plataforma para el vídeo.

Con la llegada de las múltiples plataformas, la experiencia de vídeo se ha disgregado en varios componentes:

- Entretenimiento. Se busca diversión, de modo que la calidad gráfica y sonora son primordiales, y no lo es tanto el contenido. Eso sí, en igualdad de calidad, el

contenido volverá a ser el factor determinante para que el usuario decida una opción a visualizar.

- Aspecto Social. Conlleva interactividad. Más importante el mensaje que la forma (no requiere la mejor de las calidades gráficas y/o sonoras).
- Contenido. Quizás sea la forma de vídeo más clásica, donde realmente la importancia del contenido en sí es lo que genera la atracción del consumidor. Combinando esta opción con la de entretenimiento, el usuario prefiere el contenido que presente mayor calidad para tener una experiencia más satisfactoria.
- Aspecto expresivo (o creativo). Cuando en el vídeo el entretenimiento es lo principal, el *home theater* es la mejor plataforma, mientras que si la interactividad social es lo primordial, el PC resulta más adecuado porque ofrece las herramientas de interacción necesarias (programas, Webcams, micrófono, teclado), redes sociales,...eso sí, con el permiso de los dispositivos móviles, que como ya hemos comentado, tienen actualmente un importantísimo crecimiento en este campo. Cuando el aspecto creativo o expresivo es el factor primordial, el PC y los dispositivos móviles son los más idóneos.

Todo esto guarda una relación muy cercana con el tráfico IP, debido a que aun no se ha logrado una conectividad tan alta como para permitir que cualquier dispositivo se pueda conectar a cualquier red dada y, por tanto, el tráfico variará consecuentemente en las diferentes plataformas donde el usuario demande vídeo.

### **Alta definición**

Los espectadores de contenido de alta definición buscan una determinada experiencia y el *home theater* les brinda la mejor opción de recrear sus sentidos. El contenido es secundario en el sentido de que un usuario no compra un set de alta definición para visualizar un contenido en concreto, sino para visualizar una serie de contenidos que cumpla ciertos criterios de calidad grafica y sonora, de modo que el usuario elegirá, ante dos contenidos idénticos el que mejor experiencia le produzca. Como ejemplo, si el usuario posee una película de calidad visual media o baja, y también la tiene (esa misma película) con alta calidad, se decidirá, lógicamente, por visualizar la segunda.

La primacía de la experiencia hace que el tráfico fluya a través de la red que mejor sirva a la plataforma que proporciona dicha experiencia. Por eso el tráfico de alta definición

utiliza actualmente las redes comerciales, que son las que se conectan directamente al *home theater* de los hogares.

El hecho de que en el *home theater* (incluyendo en el conjunto una pantalla Full HD, de tecnología LCD con alto contraste y frecuencia de refresco, o más actualmente tecnología LED) es donde se obtiene la experiencia de la alta definición más elevada, determina la red, es decir, que el tráfico de vídeo proveniente de la red de TV propia del operador (walled garden), donde el operador “cuida” la calidad de la señal extremo a extremo, será la red elegida por lo general para una experiencia HD.

Actualmente existen dispositivos que conectan Internet con el televisor de las casas, como las videoconsolas Xbox 360 o Play Station 3, que permiten la descarga de algún contenido cinematográfico. Sin embargo esta opción por parte del usuario suele reflejar más el disfrute de un contenido concreto que una experiencia HD.

Si el vídeo de Internet a TV ofreciera la misma experiencia que la red comercial de TV del operador sería cuando un factor, antes secundario en una experiencia HD, cobraría importancia: el contenido, de modo que ante el mismo nivel de experiencia (ambas redes ofreciendo HD, alta definición) los usuarios preferirán el tipo de red con mayor abanico de contenidos.

### **Bajo demanda (VoD, Video on Demand)**

A diferencia de la alta definición, donde la experiencia es el factor fundamental, en la visualización bajo demanda el contenido es el factor más importante (teniendo en cuenta que las tendencias no se excluyen mutuamente), por lo que determina la red. Así, la red que ofrezca mayor cantidad de contenidos será la que esté al frente del VoD, quedando el dispositivo (en el que se visualiza) relegado a un segundo plano.

Eso si, en el supuesto de que un episodio no visto de la serie favorita está disponible en Internet y en el servicio VoD comercial, los usuarios preferirán la que ofrezca la mejor experiencia.

Si el episodio está disponible a través de Internet, pero no a través del servicio comercial de vídeo, los usuarios, motivados por el contenido, acudirán a Internet. Los usuarios que no encuentren tanta motivación encontrarán en la experiencia que proporciona el PC un elemento desalentador a la hora de decidirse a visualizar el contenido, limitándose así la cantidad de tráfico que migrará de la red comercial del operador de turno hacia el vídeo a Internet.

Sin embargo, a medida que el tráfico de Internet sea cada vez más encauzado a las pantallas de televisión y que exista más contenido disponible online, se darán incrementos repentinos en el tráfico VoD de Internet. El dispositivo donde se visualice un contenido dado, vendrá determinado por la red que aloje dicho contenido, de modo que si sólo esta disponible, por ejemplo, en la TV comercial de una operadora, la única opción del usuario es visualizarlo en la TV. A medida que haya más contenido disponible a través de Internet y los usuarios se familiaricen con los servicios de vídeo online, se irá incrementando el tráfico de VoD en la Red. Debido a que la experiencia es otro factor importante para el usuario, esta demanda de VoD crecerá a mayor ritmo una vez exista conexión al *home theater*.

### **Visualización de carácter social**

Este tipo de experiencia hace referencia al vídeo donde el contenido está integrado en una red social (aunque el contenido no pertenezca concretamente a la red social, sino a un distribuidor de vídeo como YouTube) o mediante lo que podríamos denominar “visualización directa” entre usuarios. Los usuarios pueden verse, oírse, hablar o chatear, como ocurre en Messenger o Skype si concretamos más en la posibilidad de comunicación mediante Webcams o la integración de micrófono y altavoz, y directamente en redes sociales como Tuenti o Facebook, donde es posible desde chatear hasta visualizar contenidos “recomendados” (mediante *links* a portales distribuidores de contenidos generalmente) o subidos por cualquiera de tus contactos, como sucede habitualmente en las redes sociales como Twitter.

El *home theater* no admite este nivel de interactividad (de hecho no es considerado un dispositivo interactivo), por lo que el PC es el dispositivo de referencia, si bien, ya sabemos que el dispositivo móvil para uso social tiene ya gran aceptación y terminará por sobrepasar en el futuro al PC en este aspecto. A corto plazo, la *visualización conversacional* puede generar la migración de gran parte del tráfico de las redes comerciales a Internet. El atractivo de la visualización de carácter social tiene el potencial para ser un factor muy importante en la visualización de vídeo de gran formato en el PC y, por lo tanto, jugar un rol esencial en el tráfico de vídeo por Internet.

### **Crecimiento de vídeo de Internet**

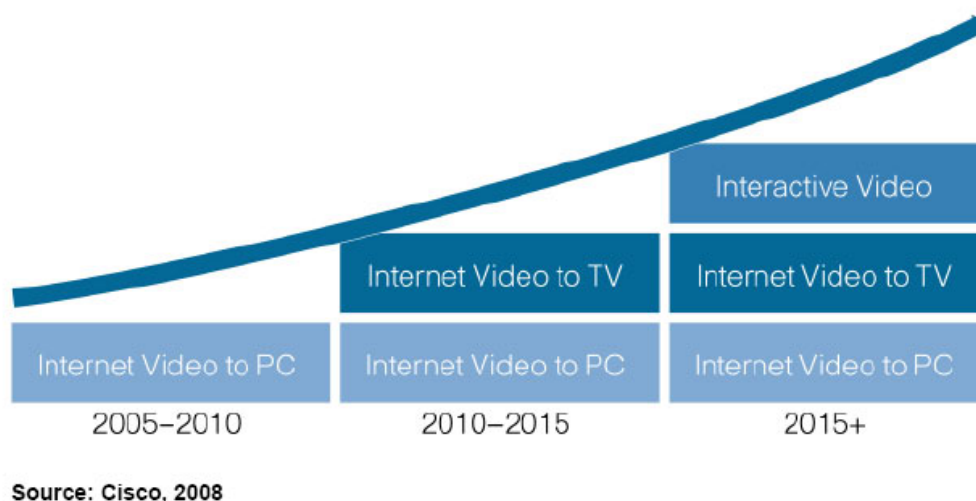
En base a los diferentes matices del tráfico, Cisco previó que el crecimiento del tráfico de vídeo tendría diferentes etapas de crecimiento. El comienzo de la primera de estas etapas



vino dada con el *boom* de YouTube en 2005, y se prolongaría hasta 2010, donde la tendencia predominante en todo este período es el vídeo hacia el PC. A partir de entonces y hasta 2015, se produciría un cambio en la tendencia del usuario a incorporar a sus vidas el vídeo procedente de Internet con destino al TV, etapa en la cual nos hayamos ahora plenamente inmersos.

La tercera etapa se identificaría con un gran desarrollo en las comunicaciones de vídeo interactivas, entre usuarios, ya para un período de inicio aproximado en 2015. Estas tres etapas han afectado y afectarán a un aspecto diferente de la red. Las dos primeras fases han tenido un mayor impacto en las redes de área urbana y de acceso, mientras que la tercera afectará, en mayor medida, al núcleo de la red.

La figura 36 puede ayudarnos a comprender mejor las etapas que acabamos de comentar.

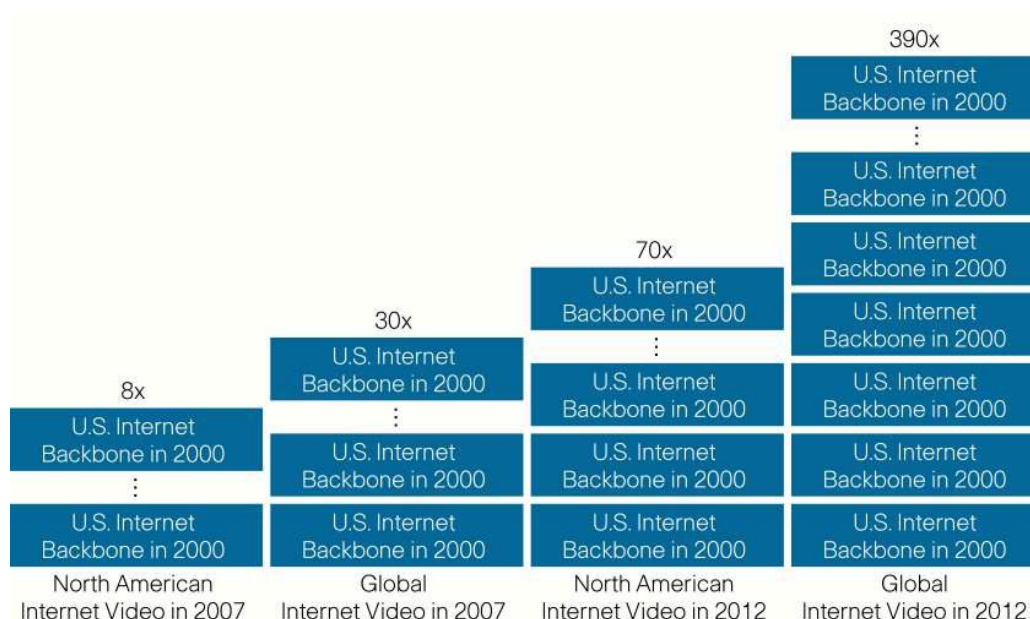


**Figura 36. Etapas de desarrollo del tráfico de vídeo**  
**Figura propiedad de CISCO, 2008**

### Segunda Etapa, momento actual

Centrándonos en la etapa actual, y como ya hemos podido ver en las previsiones de tráfico, el impacto que tiene el vídeo sobre el volumen total de datos es realmente importante.

Cuarenta horas de vídeo de alta definición genera más tráfico que un millón de emails. Para poder ver la escala de vídeo en perspectiva se muestra la figura 37, que refleja el crecimiento tanto del vídeo de Internet a PC como del Vídeo de Internet a TV que se ha dado en EEUU:

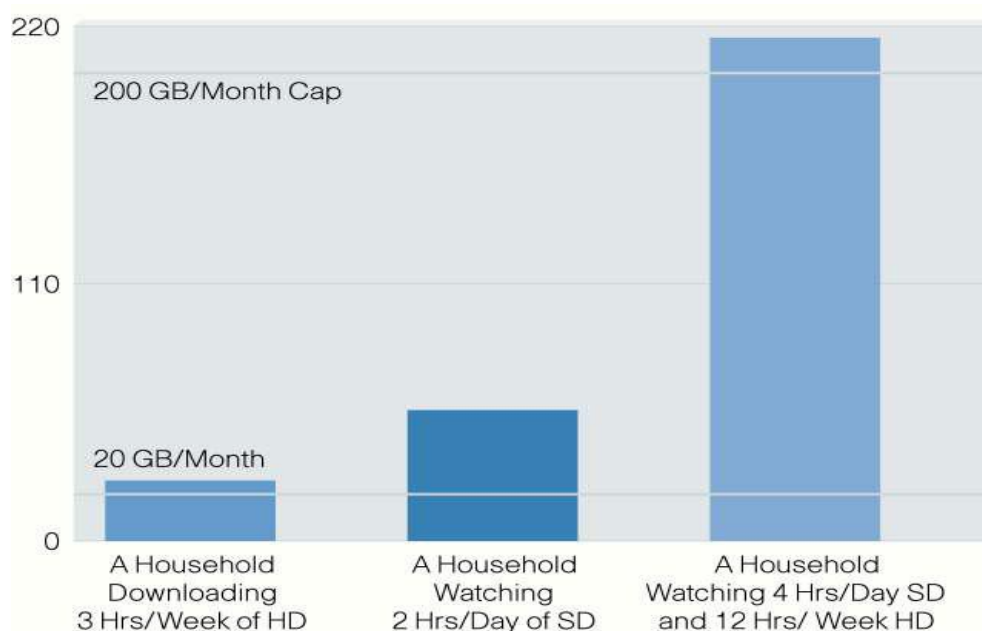


**Figura 37. Crecimiento del vídeo**  
**Figura propiedad de CISCO, 2008**

En los últimos años, las aplicaciones P2P son las que han consumido los mayores anchos de banda, con ciertos límites de uso impuestos por los proveedores. Pero tan sólo una descarga doméstica de contenido de alta definición (*high definition*, HD) de 3h por semana generará, al menos, 27 GB mensualmente.

Si se masifica el uso de la televisión por Internet, 2h al día de uso doméstico de televisión de definición estándar (*standard definitivo*, SD) supondrá 54 GB de tráfico mensual. Una descarga de 12h de alta definición más 4h diarias de visualización de televisión de definición estándar podría llegar a superar los 200 GB mensuales.

En el siguiente diagrama se puede observar la gran diferencia de tráfico producido en los tres supuestos que acabamos de comentar, lo cual también nos da una idea de lo que puede variar una previsión de tráfico variando simplemente un poco la tendencia del usuario.



**Figura 38. Tráfico en base al consumo de horas de TV**  
**Figura propiedad de CISCO, 2008**

El peso del vídeo de alta definición junto al uso intensivo de los *Heavy Users* puede ser una fórmula que termine con unas diferencias tremendas en los volúmenes de tráfico descargado entre usuarios. En lo referente a BAM, vimos la tendencia en retroceso que está teniendo este tipo de usuarios, debido a diversos mecanismos de control por parte de las operadoras. No obstante, en lo que a BAF se refiere, las operadoras están empezando a usar mecanismos de control para buscar como finalidad el retroceso del uso abusivo por parte de estos usuarios. Estos mecanismos de control se estudian en el apartado 4.3 Políticas de uso justo y técnicas de control del AB.

### Tercera etapa de desarrollo del vídeo

A partir de 2015, una tercera oleada de tráfico de vídeo será impulsada por las comunicaciones de vídeo por Internet también conocidas como videocomunicaciones.

Durante las últimas décadas, se ha especulado con el hecho de que las llamadas de vídeo serían el siguiente paso en la evolución de las comunicaciones, pero por contra, los resultados obtenidos fueron realmente pésimos.

Se van a dar, previsiblemente, una serie de cambios para llevar a pensar que de una vez por todas, esta vez sí, las comunicaciones de vídeo serán un factor desencadenante en el desarrollo del tráfico de Internet.

Las llamadas de vídeo entre PCs no tienen la misma barrera de adopción que tuvieron las de videotelefonía. Si las barreras de adopción para cada mercado se acumulan y son consideradas conjuntamente, parece claro que las llamadas de vídeo entre PCs serán mucho menos entorpecidas.

Las diferencias que caracterizan las vídeo-llamadas basadas en PC son las siguientes:

- El mercado objetivo de los videoteléfonos como servicio de consumo estaba limitado a familiares y amigos que se encontraban dispersos geográficamente. Éste mercado destino ha crecido ampliamente con la entrada en escena de las mejoras de ancho de banda de las redes y los servicios de banda ancha, lo que ha permitido la generación de amigos virtuales que pertenecen a diversas comunidades.
- La incorporación del vídeo a las redes de mensajería instantánea y redes sociales comenzó a convertirse en un factor de potenciación.
- Las webcams conllevan un bajo coste y las hace fácilmente adquiribles, además de requerir de una sencilla instalación, o bien vienen integradas al adquirir un equipo. Además, su uso no conlleva costes de mantenimiento.
- Las llamadas de vídeo entre PCs son gratuitas, eliminando así la barrera de accesibilidad económica.
- El ascendente uso de las comunicaciones de vídeo en el área empresarial aceleraría su aceptación en el sector residencial por parte de los consumidores. Las tecnologías, tanto en el sector residencial como en el empresarial, forman un bucle retroalimentado mutuamente, de forma que los empleados podrían llevar las tecnologías de comunicación pro vídeo hasta sus hogares, como los consumidores encauzaron la mensajería instantánea al trabajo. Cada vez más, las tecnologías de las comunicaciones se desplazan de un área a otra.
- Las comunicaciones de vídeo son más que simples vídeo-llamadas: la monitorización por vídeo, el uso compartido del vídeo, la telepresencia de consumo y la telemedicina quedarán ligadas a las vídeo-llamadas, dando comienzo a la tercera oleada de tráfico.
- La primera webcam fue lanzada en 1991 y el primer software para realizar vídeo-llamadas entre PCs apareció en 1992. La propagación de la tecnología de consumo puede ser lenta y penetrar en el mercado masivamente tiempo después

de su puesta en escena: 7 años tuvo que esperar el DVD, 20 años fue el tiempo que tardaron el PC o el teléfono móvil, o incluso podría ser aún más tiempo. Como las barreras a las que los usuarios de las vídeo-llamadas se enfrentaban comenzaron a desaparecer, y siguen haciéndolo, parece bastante probable que las comunicaciones por vídeo basadas en PC alcancen masivamente el mercado entre 2012 y 2015.

### 3.5 Conclusiones

Los servicios de datos móviles van por el camino de convertirse en una “necesidad” para muchos usuarios de la red, algo realmente indispensable tanto para llevar a cabo, en algunos casos, gestiones laborales, y en otros, puro ocio. Tanto los datos móviles, como los servicios de vídeo y TV de la banda ancha fija están pasando a formar parte de la vida de los usuarios.

La suscripción de usuarios móviles a servicios de datos sigue en constante aumento, y junto a los nuevos servicios ofrecidos a los usuarios, se incrementa continuamente tanto el volumen total de datos como la demanda de ancho de banda por usuario. El salto de las redes sociales que permite al usuario estar permanentemente “enganchado”, junto al apoyo de servicios en la nube sigue sumando en el crecimiento del tráfico que circula por las redes móviles. Y precisamente el vídeo será el principal causante del crecimiento exponencial del tráfico de datos por la Red.

Los hábitos de consumo de Internet están cambiando y lo seguirán haciendo drásticamente por la irrupción de parámetros propios e intrínsecos de los dispositivos móviles, lo que convertirá al móvil en el líder del futuro digital.

Mientras tanto, el vídeo en su conjunto seguirá siendo el principal motor del tráfico en toda la Red.

En los próximos años habrá que observar de cerca los factores económicos, dado que la actual crisis, aún no resuelta, jugará un importante papel en el desarrollo y despliegue de nuevas tecnologías, junto a otro factor determinante en los nuevos paradigmas tecnológicos: la neutralidad de red.



## 4 Modelado y control de tráfico

Como comentábamos en la introducción, es completamente necesario para la supervivencia de las operadoras de BA un profundo conocimiento del tráfico que circula por sus redes. Sabiendo modelar el tráfico de la forma más parecida a la realidad, una operadora podrá estimar de forma más certera la cantidad de recursos necesarios para cursar dicho tráfico. Así de sencillo en apariencia y así de difícil en la ejecución. Veremos cómo la forma “tradicional” de modelado usado ha dejado de ser la más idónea por ser más específica para tráfico de voz y no para tráfico de datos: no se comportan igual. Es por ello que numerosos estudios están llevando a las operadoras a comprender mejor el comportamiento de este tráfico, utilizando para ello un nuevo concepto no aplicado hasta ahora en el campo de las telecomunicaciones: la autosemejanza, es decir, la capacidad de reproducir un objeto en su globalidad, partiendo de una parte del mismo. En el primer epígrafe de este apartado nos extenderemos ampliamente sobre todo lo referente al modelado del tráfico de datos.

A colación del modelado del tráfico, podemos destacar la importancia que para una operadora representa, además de conocer la cantidad de tráfico, saber el tipo de tráfico que atraviesa sus redes, su tipología. Aquí entran en juego diferentes intereses, desde poder ofrecer mejor calidad de servicio pudiendo priorizar ciertos tráfico frente a otros con menor necesidad de tiempo real, hasta conocer el tráfico más “prescindible” y poder descartarlo en momentos de colapso o permitir a las operadoras ver la tendencia de los diferentes tipos de tráfico a través de un análisis de la tipología a lo largo de un periodo de tiempo, como ya vimos en el bloque anterior (previsión de la evolución del tráfico de red).

Además permite a las operadoras poner en práctica políticas de uso, lo que viene a ser grosso modo el control del tráfico tanto a nivel colectivo como individual.

Pero desde el punto de vista de la neutralidad de red, estas prácticas por parte de las operadoras de tráfico pueden vulnerar este principio: la red es transparente al tráfico. Este debate se extiende globalmente, dividiendo a usuarios y operadoras, cada uno mirando más hacia sus intereses, y donde juegan un papel muy importante las agencias reguladoras (en España la CMT, Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones). Además, un mal uso de los equipos encargados de obtener dicha información (los equipos de *deep packet inspection*) podría vulnerar el derecho a la intimidad de los usuarios, dado

que un profundo análisis daría a conocer, por ejemplo, el contenido de un email no cifrado.

Por otro lado, ¿hasta qué punto es legítimo hacer uso de forma masiva y continuada de la BA que un usuario dispone? El debate está servido.

A lo largo de este bloque podremos ver todo esto y analizarlo de forma detallada.

De igual forma, no cabe duda de que el análisis de la tipología del tráfico puede también acabar (o al menos disminuir) con el colapso de ciertas partes de las redes, como veremos en el último epígrafe de este bloque, donde conoceremos diferentes técnicas usadas para minimizar el impacto del tráfico de vídeo.

#### 4.1 Modelado del tráfico

Cuando hablamos de modelar el tráfico, nos estamos refiriendo a conocer el comportamiento del tráfico telemático y cómo es el modelado analítico del mismo, de vital importancia para las operadoras por tratarse de la base en el diseño de las redes. De hecho, el modelado del tráfico de entrada en las redes de comunicaciones es considerado, para muchos expertos, uno de los factores más importantes a la hora de evaluar las prestaciones de dichas redes.

Un modelo de tráfico es una abstracción matemática de cierta complejidad (generalmente a mayor grado de complejidad, mayor grado de similitud con la realidad) que tiene por objetivo imitar las propiedades estadísticas del tráfico real, cuya simplicidad facilita la evaluación analítica del rendimiento de la red (o de algunos de sus elementos) [27]. Así, las medidas de tráfico a gran escala pueden ser reducidas a la evaluación de unos pocos parámetros, como la tasa de pérdida de paquetes, el retardo (tiempo total que gasta un usuario en el sistema), el caudal (*throughput*), o la tasa (promedio de atención de usuarios en el sistema) entre otros, que dependen directamente del grado de representación de la realidad que el modelo de tráfico utilizado sea capaz de llevar a cabo.

Tanto el tráfico de voz que generan las personas en las redes de conmutación de circuitos como los tráficos de datos que generan, ya sean personas ó máquinas, en las redes de conmutación de paquetes se pueden “modelar matemáticamente mediante distribuciones estadísticas, de tal forma que se pueda predecir, para cualquier cantidad de usuarios, cuál es la intensidad (llamadas por segundo ó bits por segundo) de tráfico agregado que se va a generar y cuál es el comportamiento de los nodos de la red en su manejo y, por lo tanto, sus necesidades de capacidad de proceso y tamaño de *buffering*



Tradicionalmente el tráfico de voz se ha modelado mediante distribuciones de Poisson [28], modelos matemáticos que permiten, en definitiva, elaborar unas tablas donde el planificador consulta cuál es el número de circuitos que se necesita para un determinado número de clientes y calidad de servicio.

Inicialmente se utilizaban también los modelos de Poisson para modelar los tráficos de Internet. Sin embargo hay numerosos estudios cuyos resultados aconsejan la utilización de modelos matemáticos diferentes, dada la naturaleza autosimilar que se está observando en dicho tráfico. La característica de autosimilitud es la que está presente en los fractales (en los cuales, al variar la escala de observación el patrón de sus formas físicas es invariable). El disponer de los modelos matemáticos que mejor se ajusten al comportamiento real del tráfico es muy importante, pues de ello depende por ejemplo que se dimensionen adecuadamente los *buffers*, antes mencionados, de los equipos de la red.

#### **4.1.1 El modelamiento de tráfico y sus inicios.**

El modelado del tráfico nació con la telefonía convencional, con el objetivo de obtener matemáticamente un escenario que permitiese a las operadoras de telefonía desplegar sus redes ofreciendo un nivel de calidad adecuado. Esto permitiría a las operadoras evitar la necesidad de instalar un enlace por cada par de abonados a la central, de forma que un conjunto de enlaces serían compartidos por los usuarios de un nodo (donde evidentemente el número de enlaces es muy inferior al número de abonados) y permitiría un considerable ahorro de costes.

En este escenario, el diseño de un sistema eficiente requiere del conocimiento detallado de la carga ofrecida del tráfico de llamadas, para poder calcular la probabilidad de colapso (cuando el conjunto de abonados quieren hacer uso de más enlaces de los disponibles) y mantenerla por debajo de unos umbrales mínimos que garanticen la calidad del servicio.

El danés Agner Krarup Erlang (1878-1929) fue pionero en el estudio de la problemática del tráfico de las redes telefónicas y uno de los primeros en aplicar la teoría de probabilidades al tráfico telefónico. En sus análisis concluyó que el inicio de una llamada por parte de un usuario dado supone un incremento de tráfico despreciable dentro del tráfico total agregado en una central de gran tamaño. También argumentó que los abonados inician las llamadas de manera independiente, en la inmensa mayoría de las situaciones. Cogiendo las dos reflexiones conjuntamente, los argumentos heurísticos

sugerían que los procesos de Poisson eran los óptimos para modelar el tráfico agregado de la red telefónica básica. Por tanto, los modelos clásicos, basados en procesos de Poisson, representan la duración de cada llamada y el tiempo entre llamadas como variables aleatorias exponencialmente distribuidas e independientes, lo que se traduce como un sistema sin memoria o de memoria nula, donde la probabilidad de que se produzca una llamada en un determinado instante es independiente de los instantes anteriores donde se iniciaron otras llamadas.

Una extensión de los resultados de Erlang fue proporcionada por el matemático noruego Thorir Olaus Engset (1865-1943), quien introdujo una serie de funciones fundamentales en este campo, como las tasas de modulaciones más lentas asociadas con ciclos de tiempo (ciclos diarios, semanales o mensuales), o los picos de tráfico alcanzados de forma súbita, por ejemplo durante eventos deportivos de enorme alcance social, o desastres de enormes proporciones, además de las complejidades del tráfico que abarcan diversas centrales.

De este modo, este conjunto de apreciaciones se convirtieron en la base de la eficiencia de las redes telefónicas: los modelos de tráfico poissianos se convirtieron en los modelos de tráfico telefónico más exitosos, tanto por el gran reflejo que conseguían hacer de la realidad como por su gran simpleza desde el punto de vista analítico.

#### 4.1.2 Cambios en el paradigma del tráfico.

Con el comienzo de la transmisión de datos a través de redes de telecomunicaciones surgió la necesidad de revisar los modelos de tráfico existentes.

El tráfico de datos se caracteriza por una elevada variabilidad (*burstiness*) acompañada de una férrea correlación positiva (esto es, en otras palabras, dependencia), mucho más notable que en el tráfico telefónico vocal. Debido a estos hechos se empezó a cuestionar la validez de los modelos tradicionales que habían plasmado la forma del tráfico hasta ese momento, centrándose en la creencia de la independencia la mayor duda[31].

Desde la época en que los pioneros trabajos de Leonard Kleinrock, en los años sesenta, hasta hace apenas unos años, la mayoría de los estudios se han enfocado precisamente en la dependencia en el tiempo de los paquetes que proceden de tráfico de datos, contando con un gran número de autores. En la actualidad, estos estudios han sido ya convertidos en teorías demostradas, donde uno de los puntos más impactados es el sistema de colas y las prestaciones que éstos deben tener.

Los primeros modelos que ya fueron considerados como tal, reflejaban cierta dependencia temporal, si bien dicha dependencia se reflejaba sólo a corto plazo (en inglés *short-rate dependence*, SRD). Se trata fundamentalmente de modelos markovianos, como el MMPP (*Markov Modulated Poisson Process*), lo que se traduce por la generación de sencillas cadenas markovianas de pocos estados, donde la correlación viene dada por el hecho de que el estado actual del sistema depende exclusivamente del estado anterior. La evolución de estos procesos de memoria SRD, a costa de perder tratabilidad (inyectan complejidad) tienen en cuenta los N estados anteriores mediante la introducción de los llamados filtros ARMA (*Auto Regressive Moving Average*), pero, en cualquier caso, despreciando la correlación a partir de determinada separación en el tiempo.

Precisamente, éste es el gran inconveniente de los modelos SRD, que precisan una numerosa cantidad de parámetros (cuanta mayor sea la escala de tiempo que se desea analizar, mayor número de parámetros necesarios) para poder modelar las importantes correlaciones que se observan a largo plazo. Y el incesante crecimiento del número de parámetros, lleva asociado un aumento en la dificultad del análisis, además de lo complejo que resulta dar una interpretación física a tantos parámetros. Por tanto, si el período de tiempo a estudiar con este modelo es demasiado grande, la complejidad que arrastra lo convertirá en un modelo inviable, irrealizable.

Prosiguiendo las investigaciones del tráfico correlacionado, en 1994 un famoso trabajo presentado por Leland, Willinger, Taqqu y Wilson mostraba la naturaleza autosimilar o fractal del tráfico de una red Ethernet, en Bellcore (NJ, USA). Dicha fractalidad fue corroborada por los estudios de Paxson sobre redes de área extensa en 1995 y por los de Heyman y Lakshman en redes de distribución de vídeo en 1996, estableciéndose así las bases para comprender tanto el modelado como el análisis del rendimiento del tráfico en redes modernas, dando pie a numerosas investigaciones sobre la naturaleza de este fenómeno en los últimos años.

Seguramente, la característica más destacable del tráfico autosimilar no es otra que la presencia constante de ráfagas a través de diferentes escalas de tiempo, o dicho de otro modo, en la autosimilitud subyace la idea de dependencias, además de a corto plazo (SRD), a lo largo del tiempo o LRD (*Long-Range Dependence*). El grado de dependencia se determina mediante el suave decaimiento a largo del tiempo de los coeficientes de correlación existentes. Esta idea se vincula a la existencia de variabilidad del tráfico en un

extenso abanico de escalas temporales, que los modelos tradicionales de modelado de tráfico son incapaces de reflejar.

La LRD ha supuesto una gran innovación en el campo del modelado de tráfico telemático, abriendo la puerta a nuevas investigaciones en los últimos años, que están dando como resultado la detección de fractalidad en otros tipos de tráfico con diferentes naturalezas y requisitos de calidad de servicio, así como en diferentes partes de la red: tráfico de redes WAN, vídeo de tasa variable (*Variable Bit Rate* -VBR), los datos SS7 (protocolo de señalización número 7), el tráfico IP o el tráfico debido al *World Wide Web* (WWW).

En definitiva, todos los nuevos descubrimientos sobre las características fractales del tráfico han contribuido al planteamiento de nuevas técnicas de modelado estocástico del tráfico que permiten una mejora de la exactitud en lo que a la realidad respecta, y contribuyendo, por tanto, a una mejora en el análisis de recursos necesarios para que una operadora preste sus servicios de banda ancha. La clave de la mejora del modelo fractal frente a los modelos clásicos reside, como ya hemos comentando, en la dependencia temporal que existe a largo plazo, premisa que no contemplaba los modelos de Poisson. Además, esa dependencia temporal se asocia a diversos tipos de tráfico, mostrando versatilidad para el modelado, y mostrando pocas limitaciones en este sentido. Otros modelos de tráfico que exhiben mayor simplicidad analítica, como los procesos de renovación, no presentan correlación temporal, y otros modelos que si la reflejan, como los markovianos (también denominados autorregresivos), presentan una correlación que es más difícil de determinar analíticamente sin ser, esta correlación, más que a corto plazo (*Short-Range Dependence* -SRD).

Por tanto, las ventajas que parecen tener los modelados fractales les convierte no sólo en parte activa ya del presente, sino en el futuro de las técnicas de modelado estocástico de tráfico de datos.

#### 4.1.3 Fractal

Se puede definir la autosimilitud o fractalidad, de modo sencillo, como la propiedad de un elemento que preserva su misma distribución estadística, en el tiempo o el espacio, independientemente de la escala del análisis. Por tanto, por definición, las estructuras autosimilares (fractales) contienen duplicados más pequeños de sí mismas en cualquier nivel de proporción que se estudie.

Con el fin de obtener un conocimiento profundo sobre esta propiedad, surgió la geometría fractal en la década de los 70, como una síntesis de los trabajos desarrollados principalmente en las matemáticas y en la física durante más de un siglo. Dicha geometría fractal surge como geometría de la naturaleza, ya que con la geometría euclídea no era suficiente para poder explicar algunas formas como líneas costeras, ramificaciones arbóreas, nubes, sistemas neuronales, montañas, rocas...

El polaco Benoit Mandelbrot fue quien acuñó en 1975 el término fractal para describir las formas complejas, procedente del latín *fractus*, que significa interrumpido, irregular o fraccionario. Ejemplos muy gráficos de la fractalidad podemos encontrar muchos en la naturaleza, como por ejemplo, en la hoja del helecho, mostrado en la figura 39:



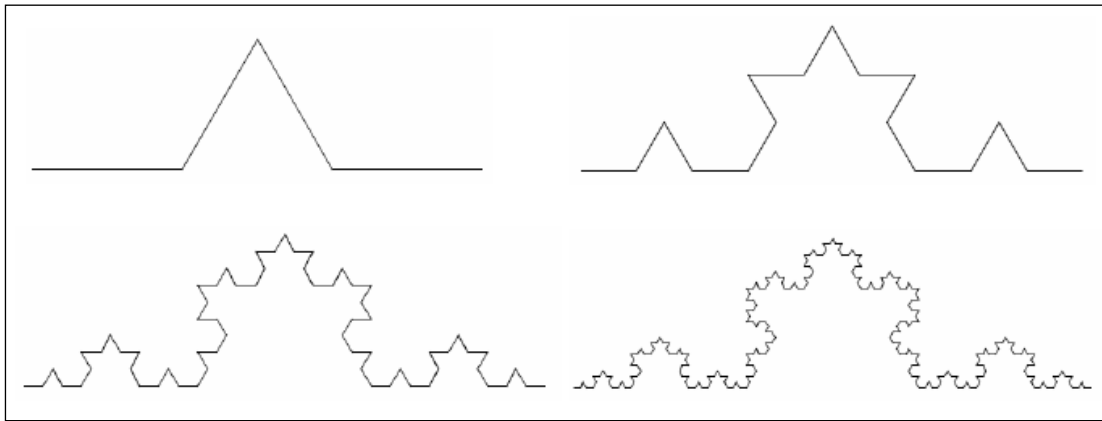
**Figura 39. Fractalidad de la hoja de helecho**  
**Obtenida de [34]**

Gracias al desarrollo de esta nueva geometría de objetos irregulares se estableció el uso de distribuciones autosimilares para modelar los fenómenos fractales del mundo real, como por ejemplo, mercados bursátiles, terremotos, meteorología... y más recientemente, en el campo de la convergencia de ciertos sistemas que presentan dinamismo y en muchas secuencias temporales, lo que ha permitido el diseño de mejores y más robustos algoritmos para el procesado de imágenes o mejoras en el modelado para los análisis financieros o tráfico de redes de conmutación de paquetes.

En base a la exactitud con la que podemos observar un proceso fractal en cada una de sus escalas estudiadas podemos distinguir, según el mismo Mandelbrot, entre tres tipos de procesos autosimilares: los de fractalidad exacta, casi exacta y estadística.

La autosimilitud exacta, también llamada determinística, es la más restrictiva de todos los tipos de autosimilitud, dado que exige que el objeto sea completamente idéntico a cualquier escala del mismo.

En la figura 40 se muestra la construcción de la forma más sencilla de autosimilitud de este tipo. Se puede obtener mediante la repetición de una técnica concreta, como ocurre, por ejemplo, con el copo de nieve de Von Koch: se genera dividiendo un segmento en tres partes iguales y posteriormente sustituyendo el segmento intermedio por dos segmentos de idéntico tamaño (y además este tamaño es el mismo que el segmento al que sustituyen), formando un triángulo equilátero. Si la técnica es repetida una y otra vez para cada nuevo segmento, basta tan sólo un pequeño fragmento de la curva de Von Koch para recrear enteramente una figura de tamaño mayor de forma completamente exacta.



**Figura 40. Composición de un objeto autosimilar**  
Elaboración propia basada en [29]

En la autosimilitud casi exacta las copias del conjunto a diferente escala guardan un gran parecido sin ser del todo exactas, presentando un bajo grado de distorsión.

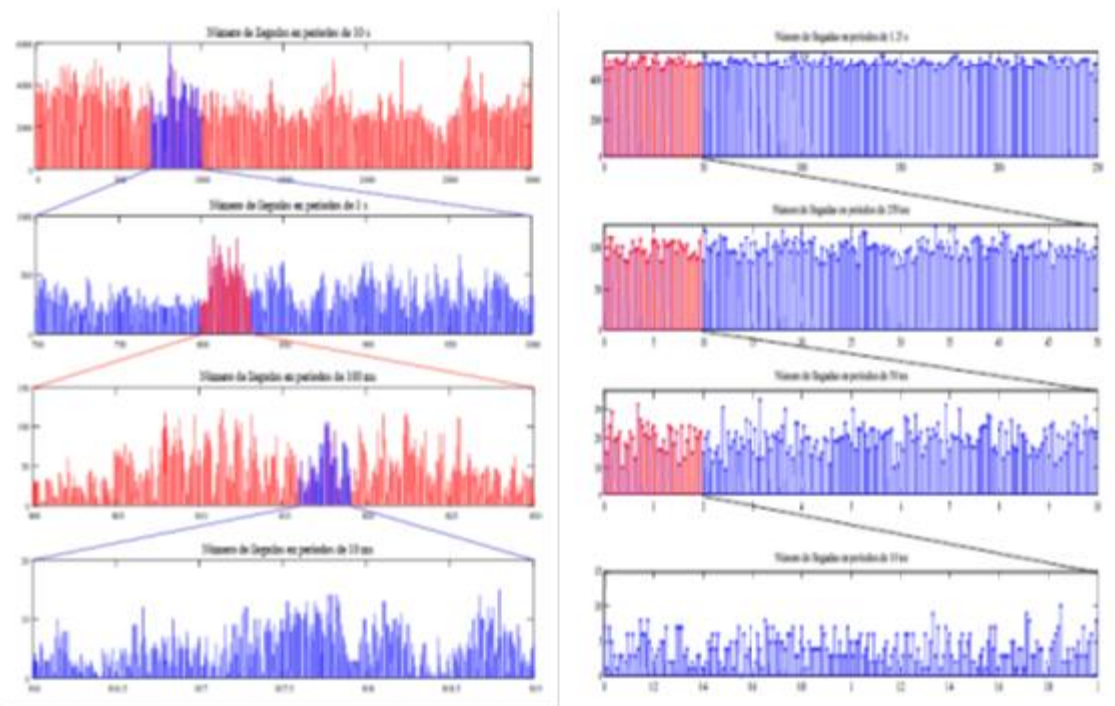
La autosimilitud estadística o estocástica es el tipo más débil de autosimilitud, donde con el cambio de escala “sólo” es necesario que se preserven ciertas medidas numéricas o acotaciones estadísticas. Es el tipo de fractalidad que presenta el tráfico real por tratarse de un proceso estocástico, por lo que se trata de la fractalidad que más nos interesa para nuestros fines.

#### 4.1.4 Tráfico fractal: propiedades

Como se ha comentado ya, el tráfico fractal o autosimilar se engloba dentro de la autosimilitud estocástica. Para poder observar con claridad un ejemplo de este tipo de fractalidad, se presenta en la figura 41 una serie de capturas de tramas de tráfico de red

Ethernet, además de poder comparar visualmente el resultado de realizar las capturas siguiendo un modelo de tráfico fractal (columna de la izquierda ) frente a un modelo tipo Poisson (columna de la derecha).

En la columna de la izquierda figura, en primer lugar, una captura del número de paquetes que transitan por el segmento de una red Ethernet durante 10 segundos, seguido posteriormente de otras tres capturas, que representan cada una de ellas una porción de una décima parte de la captura anterior, disminuyendo así la granularidad.



**Figura 41. Tráfico tipo fractal vs Poisson**  
**Elaboración propia basada en [29]**

Se puede observar que las cuatro gráficas modeladas autosimilarmente guardan un gran parecido entre sí. Sin embargo, a diferencia de los procesos fractales determinísticos, cada gráfica no es una reproducción exacta de la gráfica anterior. Y es que realmente sería utópico esperar encontrar esta autosimilitud en un proceso con tanta incertidumbre como es la llegada a una red Ethernet de paquetes de datos. Pero si limitamos el abanico de aleatoriedad mediante la restricción de fractalidad tan sólo a ciertos conjuntos de valores estocásticos dentro de cada escala de tiempo que tomemos como referencia, encontraremos sin lugar a dudas autosimilitud (exacta y/o aproximada) en casos como el que acabamos de analizar.

Al comparar las gráficas “poissonianas” con las autosimilares, observamos que en las primeras, a medida que consideramos intervalos de tiempo mayores, las llegadas se suavizan y en cada intervalo varían menos, mientras que la variabilidad en el proceso de tráfico autosimilar se muestra invariante a la escala y, por tanto, el comportamiento medio de este tipo de procesos a corto plazo es igual que a largo plazo.

Dicha persistencia de *burstiness* (variabilidad) del tráfico autosimilar es una característica realmente importante desde el punto de vista del rendimiento de la red, y que, junto a su característica intrínseca de dependencia a largo plazo (LDR), provoca un impacto notable en el funcionamiento de la red.

Para medir el nivel de autosemejanza que presenta un tráfico de red, se usa el conocido como *parámetro/exponente de Hurst* o *parámetro  $H$* , que debe su nombre al hidrólogo británico Harold Edwing Hurst (1880-1978). Mide la persistencia de las propiedades estadísticas y de la longitud de la dependencia a largo plazo de un proceso estocástico.

$H$  puede tomar valores desde 0,5 a 1. Un valor de 0,5 indica la ausencia de autosemejanza (proceso de Poisson). Por otro lado, cuanto más cercano es  $H$  a 1, más se mantiene la variabilidad.

Los valores típicos de  $H$  que se suelen dar son los siguientes:

- Procesos totalmente autosimilares tienen  $H = 1$ .
- Procesos puramente aleatorios, como el ruido blanco gaussiano, tienen  $H = 0,5$ .
- El tráfico de red puede tener un amplio rango de valores de  $H$  pero típicamente entre 0,7-0,8

#### 4.1.5 Modelos de tráfico fractal.

Hoy por hoy las diferentes técnicas de modelar tráfico de forma fractal son agrupadas en base a la escala temporal en la que se realizan sus cálculos de dependencia, o lo que viene siendo a corto o largo plazo, o la combinación de ambas.

En verdad existen muchas técnicas dentro de este método de modelado, si bien sólo nos centraremos en dar unas pequeñas pautas sobre los modelos autosemejantes, ya que la complejidad matemática escapa a las pretensiones de este trabajo.



Una de las características que todo modelo de tráfico ha de cumplir en mayor o menor medida es la parsimonia: ha de ser representado con el menor número de parámetros, y claro esta, a menor número de parámetros, mayor es la parsimonia que presenta.

Además, estos parámetros han de representar la realidad de la forma más comprensible y evidente que sea posible (por ejemplo: velocidad máxima, velocidad de pico, tamaño de ráfaga...).

Los modelos autosemejantes se ajustan a estructuras estrictamente fractales, es decir, de variabilidad a todas las escalas de tiempo, como son modelos de carácter generalista, como los FGN (*Fractional Gaussian Noise* o ruidos gaussianos fraccionarios), o los procesos ARMA integrados fraccionarios (FARIMA) [30]. Así los FGN generan señales fractales puras (es decir, son estadísticamente replicables con independencia de la escala de estudio), mientras que los modelos de ARMA además, añaden dependencia a corto plazo (SRD). Esto supone una ventaja: son capaces de representar la LRD mediante el uso de un único parámetro, como es el  $H$  o de Hurst, que como ya hemos comentado, que nos indica cuánto de fractal es la muestra. De esta manera, estos modelos presentan un alto grado de parsimonia. Por el contrario, su principal desventaja radica precisamente en la dificultad de una estimación ajustada de  $H$ .

#### 4.1.6 Conclusiones

La forma en la que una operadora modela el tráfico que circula por sus redes resulta ser una herramienta más de eficiencia, y por tanto, de ahorro de costes. Es por eso que es tan interesante poder prever el comportamiento que el tráfico tendrá a largo plazo.

Además, los modelos estocásticos de tráfico basados en la autosimilitud pueden ayudar también a mejorar la calidad de servicio de forma que con modelos tradicionales era prácticamente inimaginable.

Con esto se pone de manifiesto la importancia de esta parte del estudio dentro de los parámetros que contemplan las operadoras a la hora de diseñar sus redes, y nos acercan a cumplir nuestros objetivos marcados en este PFC.

## 4.2 Necesidad de singularizar y limitar la BA

La red de acceso es una parte crítica en el día a día empresarial y residencial para la mayoría de los usuarios. Los tiempos de respuesta, las latencias, la capacidad de

procesamiento, la fiabilidad y la calidad de servicio son parámetros realmente importantes para medir el rendimiento de la red.

Cada usuario percibe la red de una manera diferente y tiene un conjunto de expectativas distintas de la misma. Y es que la red no es simplemente un medio físico para la transmisión de información, sino que en el sentido más extenso, se trata de un recurso compartido primario. Cuando un recurso, como una carpeta o una impresora, es compartido, los accesos privilegiados y los permisos son restringidos para establecer una política compartida, es decir una serie de normas que especifican cómo se ha de repartir el uso de dicho recurso.

La centralización del manejo de las políticas junto al conocimiento del estado de la red son, en suma, una potente estrategia para regular las redes y el control de carga de tráfico para su rendimiento, eficiencia y seguridad.

El mercado de las aplicaciones y servicios de red multimedia, a día de hoy, no sólo copan una importante parte de las demandas de tráfico, sino que seguirá creciendo su demanda, produciendo un desafío en las operadoras de red de banda ancha a la hora de gestionar su red actual y su desarrollo futuro.

Con este panorama de crecimiento, donde el vídeo juega un papel fundamental dentro del tráfico, se presenta también la desigualdad entre usuarios que tanto incomoda a las operadoras, producido por los denominados *Heavy Users*, antiguamente denominados *bandwidth hog* (cuyo significado es ciertamente peyorativo, cerdo de banda ancha, de ahí el cambio de término), que se usa no para el usuario que excede el límite del ancho de banda, sino a quien realiza descargas de alta velocidad de manera constante.

Además, si nos referimos exclusivamente a la banda ancha móvil, hablamos de un medio compartido mucho más saturado que la BA fija, y con una disposición de ancho de banda muy inferior, de modo que el modelo tarifario de *all you can eat* (come todo lo que puedas) o banda ancha ilimitada de la BAF no es aplicable en este segmento, problema que inicialmente las operadoras móviles no reflejaron en los inicios de las tarifas de datos para móviles, de modo que las operadoras están intentando redirigir su modelo tarifario hacia un uso donde el consumo de datos sea menos feroz, hacia un *all you can afford* (todo lo que te puedas permitir), mediante el uso de modelos basados en *tiered pricing* o tarifas escalonadas, un concepto que adapta cada tarifa a las necesidades de cada usuario.

Para poder atacar esta serie de problemas, las operadoras, cada vez de forma más extendida, desarrollan sus propias políticas de uso justo (FUP en inglés, *fair usage policy*), lo que les permite administrar sus redes de forma más eficiente y retrasar así la necesidad de mejorarlas constantemente y afrontar unos costes menos elevados.

Este control lo llevan a cabo mediante nodos situados en diferentes partes de la red, si bien son más abundantes en la entrada de la red de acceso. La información necesaria para realizar esta función se encuentra en el denominado PCRF [4.3\_throttling] (*policy charging and rules function*) que cada operador se encarga de gestionar.

De forma general, los nodos destinados a realizar estas políticas, basadas en el tráfico y la administración de la red, pueden desempeñar funciones tales como:

- Clasificación del tráfico de red: voz, datos, audio, vídeo, imágenes, Web, protocolos específico...depende de la profundidad y nivel del análisis que se quiera hacer del tráfico. Los equipos destinados a realizar esta función, capaces de detectar incluso el tipo de datos que transporta un paquete de datos, son los denominados genéricamente como DPI, de sus siglas en inglés, *deep packet inspection*. Más adelante encontraremos una información más profunda sobre estos dispositivos.
- Grados de control. Para administrar su red, una operadora puede fijarse en diferentes parámetros para establecer sus políticas de control, o una mezcla de ellos. Son habituales los parámetros de nivel de congestión, ancho de banda, hora del día, etc.
- Inspección del estado del tráfico.
- Identificación de usuario: dirección IP, *hostname*, nombre de usuario, etc.
- Identificación de la aplicación. Su tipo o los servicios más conocidos.
- Aplicación de las políticas. Pueden limitar el AB de un usuario que ha sobrepasado el límite de volumen contratado de su tarifa de datos, por ejemplo.

Las políticas de control de red más pragmáticas y fiables son aquellas que son fáciles de entender y administrar en un ambiente empresarial y ofrezcan capacidades de personalización y flexibilidad para adaptarse a los servicios de red de los usuarios finales, basados en necesidades legítimas de los mismos. La finalidad de una política de control

de acceso es optimizar el uso de los recursos compartidos de forma amistosa entre los usuarios, y no la imposición de restricciones.

### 4.3 Políticas de uso justo y técnicas de control del AB

Cada operadora pone en práctica el control del tráfico en base a las políticas que tienen estipuladas ( algunas incluso suponen una presunta violación de la neutralidad de red), basándose en los modelos que veremos a continuación.

Una de las FUP más habituales que aplican las operadoras de BAM, aunque también lo realizan operadoras BAF, si bien esto último es más común que suceda en países asiáticos como Corea, es la denominada *tiered pricing* (), política regida por un modelo de tarifas escalonadas. Consiste básicamente en que cada usuario contrata una bolsa de navegación, es decir, contrata un tope de volumen de datos mensual ajustado a sus necesidades. Al superarlo, la velocidad de la conexión de un usuario dado se verá sensiblemente afectada a la baja, pero no se queda sin servicio. Existe otra variante de esta política en la que una vez superado el volumen de datos contratado, el usuario sigue pudiendo usar su conexión a la misma velocidad, con una tarificación por cantidad de datos extra, generalmente por un precio por megabyte extra establecido.

Vamos a comentar dos técnicas que usan las operadoras para gestionar su FUP: *bandwidth cap* (capado del ancho de banda) y *bandwidth throttling* (regulación del AB).

El capado del AB, también conocido como *bit cap*, es una técnica que limita la transferencia de una cantidad especificada de datos en un período de tiempo dado. Las operadoras de banda ancha aplican normalmente un capado cuando una parte de la red compartida por los usuarios sufre sobrecarga, o podría llegar a sufrirla. Hay dos tipos de capado, el normal y el mínimo.

En muchas situaciones cada usuario de la red espera usar una transmisión de alta velocidad durante un período de tiempo bastante pequeño, es el caso por ejemplo de la descarga de un megabyte de una pagina Web, que podría hacerse en menos de un segundo. En otras ocasiones el uso de la transmisión de alta velocidad es continuo, como puede ser en el caso de transferencias mediante *FileSharing*, P2P o *streaming* de vídeo o radio de Internet, donde un conjunto relativamente pequeño de usuarios hacen un uso intensivo de sus conexiones durante horas, pudiendo reducir las capacidades de ancho de banda de otros usuarios, al menos durante períodos del día concretos. Todavía es más

notorio este efecto en las redes de cable, dado que no sólo la red de acceso es compartida, sino que el núcleo de red también lo es.

En el capado estándar, el proveedor de servicios simplemente limita la velocidad de la transferencia de las conexiones de banda ancha. El propósito de esto es evitar que un conjunto pequeño de usuarios consuma toda la capacidad de transmisión de una parte de la red compartida. Se podría decir que los *Heavy Users* se ven bastante afectados por esta medida, pero los usuarios que hacen un uso no intensivo de sus conexiones, aunque en menor medida, también se ven afectados, por lo que, si bien este método es eficaz a la hora de evitar congestiones en la red, pagan justos por pecadores.

Para evitar esto, los proveedores usan otro tipo de capado, el *lowered cap* o capado mínimo, donde realmente se advierte y/o castiga a los usuarios que usan su conexión de forma desproporcionada, como puede ocurrir con servidores en el enlace ascendente. Este capado puede ser aplicado en horas concretas del día (por ejemplo en la hora pico) e incluso puede suponer el fin de la relación contractual entre usuario y proveedor.

Es importante remarcar que esta serie de medidas están sujetas a su regulación y supervisión por parte del regulador, que en cada país puede seguir una visión diferente, y es uno de los puntos que afecta a la neutralidad de red, tema candente en la actualidad en el campo de las telecomunicaciones a nivel mundial.

En cuanto a la regulación del AB o *throttling* [4.3\_throttling] se trata de una técnica de administración y control del ancho de banda donde el proveedor de servicios de BA intenta ralentizar los servicios de Internet. Es una medida empleada en las propias redes del operador que comparte objetivos con la técnica del capado de ancho de banda, que no es otro que regular el tráfico de red y minimizar la congestión. Esta técnica puede ser usada en diferentes partes de la red, y se aplica activamente para limitar el número de demandas que atiende un dispositivo que hace uso intenso del AB (un servidor), evitando así que sobrecargue su capacidad de proceso. Como ejemplo, podría limitar la tasa de datos, tanto de subida como de bajada, de programas basados en servicios streaming de vídeo, en protocolos P2P, como BitTorrent, o cualquier otra aplicación de intercambio de ficheros, hasta el punto, llegado el caso, de estrangular por completo las capacidades de atención de demandas de dichos programas y llegar a tasas realmente escasas o nulas.

Esta técnica, como ocurre con la anterior, chocan de frente con la finalidad que persigue la neutralidad de red, preservar un Internet abierto y libre, donde los proveedores de servicios no pueden discriminar entre diferentes clases de contenido y aplicaciones online.

La diferencia entre las dos técnicas de limitación de ancho de banda que acabamos de ver es que el *throttling* se centra en limitar la demanda de peticiones del dispositivo capaz de generar grandes flujos de datos y el capado se centra en limitar la capacidad de transferencia de datos sobre el medio.

El *traffic shaping* o catalogación de tráfico (o de paquetes) es otra técnica que emplean las operadoras para mejorar la administración y control del tráfico de datos en sus redes, controlando el ancho de banda disponible y estableciendo la prioridad del tráfico procesado mediante una política de control de volumen de datos en un período específico o bien limitando la tasa de datos de la red.

Puede decirse entonces que hace uso de las dos técnicas expuestas previamente, de modo que en sí esta técnica de gestión de tráfico es más avanzada, dado que su objetivo es normalizar los picos de tráfico y priorizar ciertos flujos de tráfico frente a otros. Como sabemos, ciertos tipos de tráfico han de cumplir unos objetivos de baja latencia para poder cumplir un servicio específico para el cliente, como son los flujos de datos de vídeo o audio, donde el retraso o el desorden en la entrega de los paquetes produciría un servicio de baja calidad. Es aquí donde entra en juego el *traffic shaping*, para mejorar la calidad de experiencia de los usuarios, priorizando los paquetes a la entrada de la red y regulando los de baja prioridad, retrasando la entrega de estos últimos, e incluso, en caso de necesidad, descartarlos.

#### 4.4 Neutralidad de Red y Deep Packet Inspection

Durante el tiempo que el uso de Internet se extendió a toda velocidad, imperó un principio fundamental: todos los usuarios y contenidos fueron tratados del mismo modo.

La red física de cables y routers no conocían nada acerca del usuario o del tipo de tráfico. El principio de no discriminación o neutralidad de red (*Net Neutrality*) permitía a los usuarios viajar a cualquier lugar de la red, libre de interferencias. Este principio de no discriminación en todas sus formas ha sido el fundamento de todas las leyes y políticas de telecomunicación durante décadas.

En estos primeros tiempos era fácil aplicar la no discriminación, puesto que los proveedores de servicio no contaban aún con la tecnología precisa para inspeccionar los paquetes de datos y evaluar su contenido en tiempo real. Pero recientemente, los fabricantes electrónicos desarrollaron la tecnología llamada DPI (*Deep Packet Inspection*) capaz de llevar a cabo rastreos de las comunicaciones de Internet en tiempo real,

monitorizar el contenido de los paquetes de datos, y poseer la lógica incorporada por las operadoras de red para decidir qué paquetes de datos en base a su contenido, o aplicaciones, superan los parámetros estipulados en la política justa de cada operador.

Como sabemos, un paquete de datos está compuesto por dos partes, cabecera y carga útil. La cabecera contiene información de procesado, como la dirección origen y destino entre otra mucha. La carga útil contiene toda la demás información, incluida la identidad de la aplicación origen, como por ejemplo una petición de un navegador Web, una transferencia P2P o un email..., así como la información a transmitir (la petición del navegador Web, datos de la transferencia P2P o parte del mail).

Históricamente, las comunicaciones de Internet eran procesadas usando exclusivamente la información de la cabecera del paquete de datos, puesto que en esta parte figura toda la información necesaria para hacer llegar un paquete de datos desde su origen a su destino.

Por el contrario, la tecnología DPI abre y lee el campo de datos en tiempo real, permitiendo a las operadoras identificar y controlar, con gran nivel de precisión, el tráfico diario que atraviesa sus redes. Permite entre otras cosas etiquetar los paquetes de tráfico para un trato más o menos prioritario, e incluso bloquearlos por completo, basándose en su contenido o en la aplicación origen (*traffic shaping*)

Los primeros dispositivos DPIs fueron usados para resolver problemas de red de forma manual y para bloquear virus, gusanos y ataques por denegación de servicio. Inicialmente, por tanto, un DPI no era suficientemente potente como para monitorizar las conexiones de Internet de los usuarios en tiempo real. Pero a fecha de hoy, como ya hemos comentado, un DPI supera con creces exclusivamente la capacidad de securizar una zona de red.

El nuevo uso de los DPIs puede cambiar las reglas de juego tal y como las conocemos, desplazándose fuera de la neutralidad de la red.

Vamos a ver un poco más en profundidad la forma en que trabaja un dispositivo DPI.

Como ya hemos comentado un dispositivo DPI, o DPI a secas, está diseñado para determinar tanto el tipo de contenido como qué programas generan los paquetes de datos, en tiempo real, en cientos de miles de transacciones cada segundo. Están diseñados para operar en grandes entornos de red.

En algunos casos los DPIs no son capaces, de forma inmediata, de identificar la aplicación generadora de un flujo de paquetes de datos. Cuando esto ocurre, los ISPs pueden usar la

tecnología *Deep Packet Capture* (DPC) para recopilar paquetes en dispositivos con memoria para, acto y seguido, examinar cada uno de ellos usando la tecnología DPI.

La tecnología DCP permite a los administradores de red realizar análisis forenses de paquetes de datos, los cuales han sido capturados e inspeccionados usando DPIs para determinar las causas reales de los problemas de red, identificando amenazas de seguridad y garantizando las comunicaciones de datos, haciendo cumplir el uso de red especificado en las políticas de seguridad.

Los paquetes de datos pueden ser o bien analizados enteros o simplemente analizados en parte, para obtener una información concreta de sus características, como por ejemplo, la dirección IP destino, el puerto, el tipo de aplicación... Después del proceso DPC, el flujo de datos puede ser evaluado comparándolo con patrones DPI de modo que los ISPs pueden garantizar que su seguridad y política de uso de datos se haga palpable para el usuario. Como ejemplo, usando esta tecnología, el flujo de paquetes procedente de un nuevo archivo compartido, desconocido para el DPI, puede ser capturado y posteriormente analizado e identificado. Una vez realizada la identificación del nuevo flujo de datos del programa, podría decretarse una política de control sobre los paquetes procedentes de dicho programa, estableciéndola en la política de seguridad del ISP.

Para que un paquete sea adecuadamente identificado, cientos de miles de paquetes pueden ser almacenados en la memoria del DPI, hasta que tenga suficiente información para contrastar y ver las coincidencias entre dichos paquetes y la lista de tipos de paquetes que el dispositivo posee.

Una vez que el DPI encuentra la coincidencia de los paquetes de datos dentro de su lista de aplicaciones, ya conoce la identidad de la aplicación origen que está realizando el envío, y se le pueden aplicar reglas que permitan o no que la aplicación continúe con el envío y recepción de paquetes. Las reglas pueden, de forma alternativa, moderar o limitar la tasa de datos de la aplicación a unos valores establecidos por el ISP, como ya vimos mediante diferentes técnicas, como el *throttling*.

Mientras que existe la posibilidad teórica de poder capturar y analizar todos los paquetes de datos usando la tecnología DCP, en la práctica no resulta veraz por no estar diseñada, esta tecnología, para hacerlo de forma persistente en el tiempo, debido a que produciría un proceso de ralentización en la transmisión de los flujos de datos y degradaría la experiencia del usuario en aplicaciones tan demandadas como los contenidos streaming, por poner un ejemplo.



Cuando a un DPI le resulta imposible identificar la aplicación responsable de una transmisión de paquetes mediante el análisis de la cabecera o carga útil de los mismos, éste examina la forma en que los paquetes son intercambiados entre los equipos. El DPI evalúa los picos y las ráfagas del tráfico de Internet mientras la aplicación desconocida envía y recibe datos, y correlaciona los patrones del tráfico con los protocolos conocidos que usan programas concretos para intercambiar información. Esta técnica heurística de evaluación supera el desafío que plantea para un DPI la encriptación de los paquetes de datos, ya que la encriptación completa de los paquetes de datos previene el análisis de la carga útil.

Generalmente lo que más le preocupa a un ISP, en relación con la eficiencia de red, no es tanto los contenidos en sí que transportan los paquetes dentro de su red, sino la cantidad de paquetes que atraviesan sus nodos y qué los genera. La evaluación de paquetes le permite al ISP identificar, por tanto, las aplicaciones que podrían degradar el rendimiento global de la red, y le permite a los administradores de red desarrollar conjuntos de reglas que traten activamente la congestión de red.

Para que quede un poco más claro este último proceso, veamos un ejemplo. Skype se previene de la inspección de sus paquetes de datos frente a los DPIs enmascarando la cabecera de sus paquetes y encriptando la carga útil de los mismos. Dado que los paquetes en sí mismos quedan encriptados, con la información de la cabecera “falseada”, la estrategia del ISP varía, adoptando un método diferente de detección del tráfico de Skype. Éste, como comentábamos más arriba, consiste en la detección heurística, de modo que el DPI debe observar un intercambio de datos particular que ocurre cuando los usuarios de Skype inician una conversación de voz: cada vez que alguien contacta con un contacto suyo usando Skype, la aparentemente aleatoria ráfaga de paquetes que intercambian sigue un patrón común que puede ser identificado mediante esta técnica heurística. Después de que la aplicación sea identificada, es posible impedir o priorizar los paquetes generados por esta aplicación.

Efectivamente, un DPI permite a los administradores de la red inspeccionar la totalidad de los flujos de datos intercambiados no encriptados a través de su red en tiempo real, lo que les permite parar, limitar o manipular paquetes antes incluso de que éstos salgan de su red original o de que lleguen a su destinatario. Mediante la inspección de paquetes usando DPIs los administradores de sistemas ganan gran control sobre cada aspecto de sus operaciones de red.

## 4.5 Técnicas para minimizar el impacto del vídeo.

Una y otra vez nos encontramos con la gran importancia del tráfico de vídeo dentro del conjunto global del tráfico de cada red, y del conjunto de ellas, de Internet. El poder optimizar el uso de las redes para dicho fin, el envío y recepción de tráfico de vídeo, es un asunto de gran importancia para los proveedores de red. Es por ello que entre otras posibles soluciones, se encuentran un conjunto de técnicas que podrían aliviar en mayor o menor medida las necesidades de los ISP de mejorar el rendimiento de sus redes para dicho fin.

Son técnicas con un uso cada vez más extendido, que podrían atacar directamente el problema del cuello de botella que se produce en la red de acceso, entre otros problemas.

### 4.5.1 P2P

El P2P, mostrado en la figura 42 es una técnica de intercambio de ficheros entre iguales, nada novedosa realmente, puesto que la hemos oído nombrar en muchas ocasiones, no ha dicho aun, ni mucho menos, su última palabra, entrando a formar parte de este campo como técnica que minimiza el impacto del vídeo.

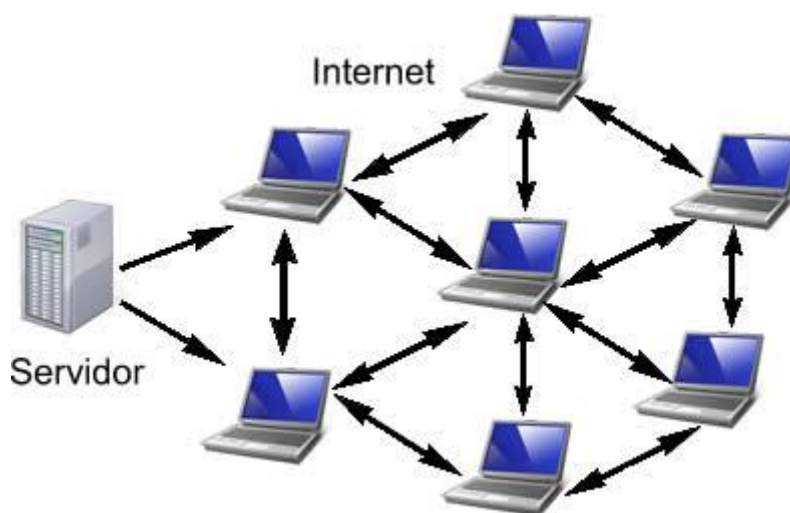
Recordemos que mediante el uso de sistemas P2P un usuario que demande la descarga de un archivo dado, puede descargar dicha información desde un gran número de localizaciones (diferentes servidores, ubicados en cualquier parte del mundo), lo que genera una mayor flexibilidad, que a su vez repercute en la robustez y escalabilidad, paradigma de los sistemas P2P. Precisamente esto es lo que le confiere a este tipo de arquitecturas una gran valía como solución para los problemas de los servicios con gran componente de vídeo, sencillamente porque descentraliza la fuente de la información, pasando de estar presente en un o varios servidores distribuidos, en un modelo cliente-servidor, a un conjunto de fuente-receptores enorme, en comparación. Pero esta flexibilidad, puede no ser una característica deseada vista desde el plano de control del tráfico, puesto que hace variar los problemas del control del tráfico en la red hasta ahora conocidos, ya que ahora tenemos múltiples formas de resolver la demanda de información de una aplicación. Es por este motivo por el que los sistemas P2P generan una gran cantidad de tráfico que podríamos denominar reiterativo (misma información viajando por hasta miles de enlaces, situados en diferentes redes).

Aplicando el concepto de P2P a la televisión de Internet, aparece la P2PTV, un mecanismo que consiste en el uso de redes de *igual a igual* para la transmisión de los canales de

televisión. De esta forma, queda eliminado el problema de tener que disponer de un servidor o conjunto de ellos capaces de hacerse cargo de todo el flujo multimedia enviado a cada uno de los usuarios conectados, tras convertirse cada uno de los usuarios en una fuente más de emisión como servidor de vídeo. Estos mecanismos de transmisión de canales televisivos presentan importantes ventajas de robustez y escalabilidad, por lo que, ayudados por las técnicas más actuales que intentan minimizar el impacto del tráfico P2P en las redes de los ISPs, están sufriendo un fuerte impulso en su desarrollo y despliegue.

Por el contrario, quedando unido a las características del P2P, estos sistemas conllevan un menor control del flujo de datos que generan, además de ir acompañado de un aumento muy significativo en el tráfico de red. Otro cambio reseñable que se produce es la fractura de la asimetría de las líneas de los usuarios (ya sean tecnologías xDSL o cable) al aumentar el tráfico de subida de los pares conectados, llegando a convertir los flujos de datos en simétricos, ya que frente al modelo cliente-servidor, donde los datos viajaban exclusivamente hacia el cliente, haciendo que el AB de bajada fuese tremendamente más usado que el de subida, en esta tecnología cada usuario se convierte en un par, capaz tanto de recibir el tráfico necesario para completar cada fragmento de su contenido aún por descargar, como de enviar la información que ya posee y le solicitan otros pares para completar la misma tarea, haciendo crecer muchísimo el tráfico ascendente de cada usuario implicado.

No hay que olvidar que los sistemas surgieron para el intercambio de archivos sin necesidad de llevar un orden a la hora de intercambiar los fragmentos de dichos archivos entre pares, lo cual choca de frente con la compartición de un contenido en tiempo real, donde evidentemente el orden de entrega de las partes es crucial. Pero realizando pequeñas modificaciones en este tipo de sistemas, pueden ser adaptados para la transmisión de contenidos de streams de televisión. Ésta concretamente es la filosofía de los sistemas P2PTV: utilizar la idiosincrasia de las redes P2P ya existentes y mediante pequeñas variaciones en su funcionamiento, hacerlas viables para la transmisión de televisión.



**Figura 42. Red P2P**  
Obtenida de [35]

Resulta interesante conocer cómo se realiza la compartición de un contenido audiovisual a través de un sistema P2PTV. El vídeo es dividido en fragmentos que se colocan, a disposición de los usuarios, desde un servidor de origen que quiere transmitir la señal de televisión. Toda la información del vídeo es accesible para cualquier usuario desde este servidor. En un momento dado, un usuario se muestra interesado en ver algún vídeo, por lo que se conecta al servidor de canales y pregunta sobre los vídeos disponibles. El *tracker* (o rastreador) mantiene un listado de los usuarios interesados en ver un mismo contenido audiovisual, por lo que, una vez que nuestro usuario se ha decidido por el visualizar un contenido concreto, se conecta al *tracker* para recibir un listado de otros usuarios interesados en ver el mismo contenido audiovisual. Tras esto, se elige un subconjunto de usuarios a partir del listado total obtenido y se establece una conexión con cada una de las fuentes elegidas. Entre estos usuarios comienzan a transmitirse los fragmentos del contenido audiovisual a compartir, dividiéndose así el flujo total del vídeo entre el conjunto total de conexión, y no recayendo todo en una sola conexión, como ocurría en el modelo cliente-servidor. Así, queda establecida una red de pares. Un par también puede conectarse al servidor de origen (que también actúa como par), de igual forma que se ha conectado al principio a los otros pares. Una vez establecidas las conexiones cada par recibe unos mapas de los *buffers* de los pares a los que se encuentra conectado. Un mapa del *buffer* es un archivo donde cada usuario muestra los fragmentos del contenido audiovisual que se encuentran almacenados en ese momento en su memoria y por lo tanto, pueden ser retransmitidos de éste hacia otros pares. Mediante el uso de un algoritmo, cada par analiza los mapas de *buffer* de los otros pares para solicitarles los

fragmentos que necesita para completar el contenido, del mismo modo que los demás pares le solicitan a éste los que necesitan de él. Este algoritmo también se encarga de ir buscando nuevos pares que se estén uniendo a la red que forman para así poder también iniciar la compartición de fragmentos con estos.

En los sistemas P2PTV hay una gran heterogeneidad en el conjunto de los pares participantes. Y no sólo eso, sino que existen grandes variaciones en el número total de pares participantes en cada instante. Son quizás los dos problemas principales a los que se enfrentan los participantes de un intercambio de contenidos audiovisual en tiempo real mediante este sistema, impidiendo que la reproducción se produzca de forma continuada y se garantice así unos mínimos requisitos de calidad de experiencia para el usuario.

Los pares participantes pueden separarse en dos conjuntos: por un lado los pares que son los usuarios residenciales con líneas de BA cuyo enlace ascendente no es típicamente demasiado elevado. Por otro lado, están los pares que son los servidores originales, con un ancho de banda mucho mayor, generalmente comprendido entre unos pocos e incluso alguna decena de Mbps de AB. El funcionamiento de estas redes P2PTV será resultado de los recursos provistos por los participantes de la red. Si el ancho de banda de los pares-usuarios es suficiente para mantener el flujo del contenido audiovisual entre los distintos integrantes de la red de pares, los pares-servidores no tendrán que hacer frente a una carga extra, pero de no ser así, estos últimos serán quienes se vean obligados a hacer frente a este tráfico extra, de tal forma que se alcance un punto de equilibrio entre el tráfico generado por ambos tipos de pares que garantice el correcto funcionamiento del sistema.

A la hora de evaluar la calidad del servicio existen ciertos problemas que van a definir esta calidad a ojos de los clientes. Uno de los problemas es el tiempo que transcurre entre que se inicia la aplicación y el instante en que el usuario puede comenzar a ver el canal deseado. Para poder funcionar con normalidad, el sistema necesita almacenar en el *buffer* una cierta cantidad de información, el problema es que un *buffer* muy grande, aunque podría garantizar un visionado sin interrupciones, también equivaldría a un tiempo de inicio excesivo, por lo que se deberá encontrar un punto de equilibrio entre estas características. Otra posibilidad es ofrecer al usuario el contenido con dos formatos de calidad, de forma que al iniciarse el programa haya servidores que puedan comenzar a enviar el flujo de vídeo en baja calidad para que el usuario comience a visualizar el contenido cuanto antes, mientras se carga el *buffer* con el vídeo de alta calidad, que

cuando tenga almacenado suficiente cantidad de fragmentos, se produzca el cambio en la pantalla que el usuario visualiza, y visualice desde ese instante el contenido en alta calidad. Este mismo problema se tendría también al cambiar de canal, ya que se reinicia el proceso de almacenamiento de fragmentos en los buffers.

Otro problema de estas redes es la posibilidad de que exista un desfase temporal considerable, del contenido a visualizar, entre usuarios. Esto no sólo es un problema para los usuarios que pueden estar visualizando un contenido en tiempo real más tarde de lo que está sucediendo, si no que los usuarios con un retraso grande pueden no estar subiendo fragmentos de vídeo a la red, ya que al resto de pares su información le resulta obsoleta y no la necesitan, reduciéndose así la capacidad de intercambio de información de subida del sistema.

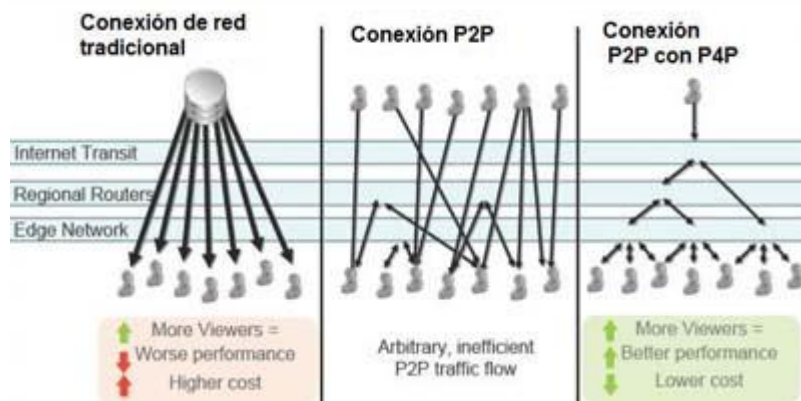
Existe un último problema de calidad que resulta importante comentar. Se dan circunstancias en las que los fragmentos requeridos por un par no llegan y el usuario percibe la reproducción con saltos o, en el caso de que no se tengan más fragmentos, se llega a congelar la imagen a la espera de recibirlos. Cuando esto sucede, lo normal en estos sistemas es que el motor de *streaming*, una vez superado un umbral de tiempo sin recepción alguna de fragmentos, corte el flujo de datos del contenido y reinicie todo el proceso. Es uno de los problemas de calidad más molestos que el usuario puede percibir, ya que, por ejemplo, es mucho menos dramático visualizar un partido de fútbol con un minuto de retraso que directamente no visualizarlo.

Mediante la captura de los mensajes de mapas de *buffer* que intercambian los pares de la red se puede realizar una valoración de la calidad que es ofrecida dentro de un sistema P2PTV, sin tener que llevar a cabo ningún proceso de control adicional que aumentaría innecesariamente el tráfico en la red. Con estos mensajes se puede conocer el estado de los pares: si hay pares que no se encuentran en disposición de reproducir el contenido por estar congelado, si se ha reiniciado, si sufre un retraso importante respecto a otros pares, etc.

#### 4.5.2 P4P

Hemos comentado que uno de los grandes hándicaps de las redes P2PTV es que debido a la gran flexibilidad que ofrecen, se produce una reiteración de información en la red, que puede verse como una gran cantidad de tráfico innecesario. Esto evidentemente no es de recibo para el ISP, que puede ver colapsada su red, y es por eso que se hace necesario el

estudio de alternativas a las redes P2P tradicionales, tal cual las conocemos, que nos ofrezcan a su vez sus grandes ventajas en cuanto a flexibilidad, robustez y escalabilidad que se necesitan para los servicios de contenidos audiovisuales en tiempo real, y que a su vez nos permita un control del tráfico generado y una mayor eficiencia en el uso de recursos de red. Como la mejor evolución de las redes P2P se posiciona el denominado P4P o P2P híbrido (*Proactive network Provider Participation for P2P* o arquitectura de participación activa del proveedor de red en P2P), donde en los resultados de las pruebas llevadas a cabo, es capaz de mantener los mismos niveles de rendimiento mientras aumenta de forma significativa la eficiencia de red, ahorrando recursos de las red del ISP. En la figura 43 se puede apreciar el concepto de intercambio de información en el modelo cliente-servidor, P2P y P4P.

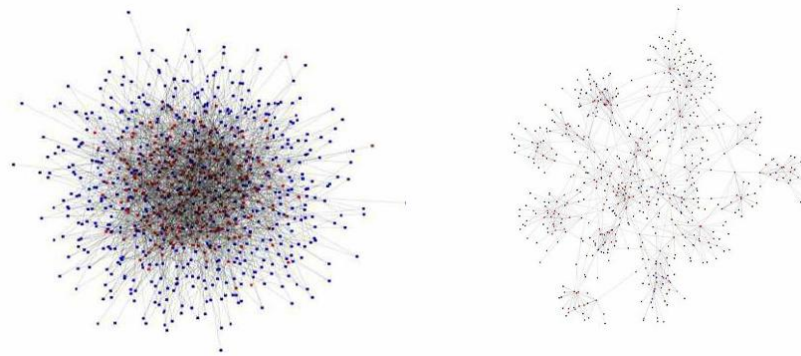


**Figura 43. Comparativa red tradicional, P2P y P4P.**  
Obtenida de [36]

De una manera resumida, podemos ver cuál es la clave de esta tecnología: es capaz de identificar los pares “vecinos” entre sí para gestionar el intercambio de información entre ellos, diciéndoles a los pares con cuáles tienen que intercambiar los fragmentos de los contenidos, acelerando de esa forma la velocidad de las conexiones entre pares por un lado, y por otro, e incluso más importante, puede evitar mucha cantidad de tráfico entre redes de distintos operadores, al poder ver cómo de cerca están unos pares de otros, haciendo así que los pares de la misma red “intenten” intercambiar, en gran medida, fragmentos con otros pares de su misma red. Eso sí, por temas de robustez es necesario que también sea posible el intercambio de fragmentos entre pares de diferentes redes, además de que no sería viable la llegada de contenidos a pares que no estén en la red del servidor, pero dicho intercambio entre redes es controlado por el *iTracker*.

Vamos a ver más en profundidad las características que presentan las redes P4P, que recordemos, no es en sí mismo un protocolo, sino “un medio para que los proveedores de Internet optimicen el tráfico de las redes P2P de sus usuarios” [32].

La mejora del rendimiento de las redes P4P es uno de los puntos fuertes de esta tecnología, como muestra la figura 44, consiguiéndola mediante el aumento de la información que posee de la red, respecto a la que tenían las P2P, las cuales apenas podían realizar la selección de los pares más indicados. Ahora, mediante el uso de diferentes métricas, P4P puede seleccionar las conexiones más óptimas.



**Figura 44. Centralización de P2P vs descentralización de P4P**  
**Propiedad de Gnutella**

En esta figura se muestra, mediante una simulación realizada con Gnutella, las diferencias entre una red P2P (izquierda) y una P4P. En la primera se observa la aleatoriedad en la forma en que cada par se conecta con otros pares, frente a la de P4P, donde se aprecia que las conexiones entre pares están siguiendo un patrón, éste es, priorizar la conexión entre pares vecinos, produciendo mucha menos congestión en la red.

Se produce un proceso más eficiente en el uso de los recursos de la red habilitando una vinculación entre las aplicaciones P2P y la red, a través de la información que se le suministra al ISP, y reduciendo tanto el tráfico por la red troncal como los costes operacionales.

La escalabilidad de P4P es manifiesta, dado que debe soportar un gran número de usuarios y un gran número de redes P2P en un escenario muy dinámico.

Esta nueva etapa de cooperación entre los sistemas P2P y los proveedores, podría dar como resultado la aceleración de las descargas en las redes P2P mediante servidores o cachés, si bien hablamos en un marco teórico.



La privacidad es quizás uno de los asuntos que más preocupa, puesto que se va a tener que liberar una parte de la información referente a la red, y podría chocar frontalmente con los principios de neutralidad de red. Es por ello que se debe alcanzar un equilibrio entre la información suministrada concerniente a la red y las mejoras en el rendimiento de los sistemas P2P.

En el escenario de una red P4P aparece una modernización de los antiguos *trakers*, llamado *iTraker*, el cual proporciona un lugar de comunicación entre los sistemas P2P y los proveedores de red. Estos *iTrackers* dividen las competencias del tráfico entre las redes P2P y los proveedores, consiguiendo que P4P sea extensible y se pueda desplegar de manera gradual.



## 5 Caracterización del usuario

Las operadoras han de estudiar determinados factores a la hora de realizar el dimensionado de sus redes. No se trata de un asunto ni mucho menos trivial, sino de una de las partes más delicadas en su planificación a largo plazo, del que dependerá directamente tanto su éxito empresarial como su fracaso.

El conocimiento profundo de las características de los usuarios es, sin duda, el factor de mayor importancia en la evolución tanto de la tipología como de la topología de las redes de telecomunicaciones, siendo muy importante en la elección, entre otras cosas, de la inversión a realizar, las tecnologías a usar o el tamaño de la red a desplegar.

En este apartado, por tanto, podremos conocer en profundidad “cuál es el comportamiento de los usuarios de BA hoy por hoy”.

Para poder describir a un usuario, desde el punto de vista de una operadora, creemos importante establecer, en primer lugar, una diferenciación entre los perfiles de consumo que se producen entre los usuarios. Más concretamente, resulta interesante conocer de qué manera los usuarios usan sus servicios de BA de tarifa plana.

Existe un conjunto de usuarios que hacen un uso masivo y continuado de su ancho de banda disponible, consumiendo mensualmente una cantidad de tráfico realmente muy por encima de la media, y la diferencia es, evidentemente, gigantesca respecto a los usuarios que usan sus conexiones para aplicaciones de bajo perfil de transmisión de datos, como el correo electrónico y la navegación Web. Este conjunto de usuarios resulta un problema considerable para las operadoras, y por tanto es necesario destacarlo en nuestro estudio del usuario presente en este trabajo. Todo esto lo veremos en el primer epígrafe de este bloque.

Otro de los objetivos que se pretende alcanzar en este trabajo es el estudio de la evolución del tráfico de usuario, que es otro de los factores clave para una operadora. Este conocimiento es directamente usado para la planificación de sus redes.

En esta parte del trabajo se presenta un profundo análisis de la evolución del tráfico que los usuarios generan, tanto a nivel de consumo como de su tipología, tanto para BAF como para BAM, y tanto para hora cargada como para hora media.

Al tratarse de una cantidad de información extensa, con el fin de facilitar su comprensión, la hemos dividido en tres epígrafes de evolución:

- Análisis durante el transcurso del día
- Análisis a nivel tipológico durante diferentes años
- Análisis de la intensidad y volumen de tráfico, no sólo para la red troncal de una operadora anónima (esta información representa el total de los usuarios), sino que se muestra la evolución de la tasas por usuario: datos realmente valiosos para las operadoras por el hecho de no depender del crecimiento positivo o negativo del número de usuarios que forman parte de una operadora (si sólo tenemos los datos de tráfico e intensidad, sin el número de usuarios, no sabemos si la tasa media por usuario crece o decrece, ya que el tráfico total se divide entre el número total de usuarios).

## **5.1 Desigualdades de consumo de tráfico entre usuarios**

### **5.1.1 Curva de Lorenz y Coeficiente Gini**

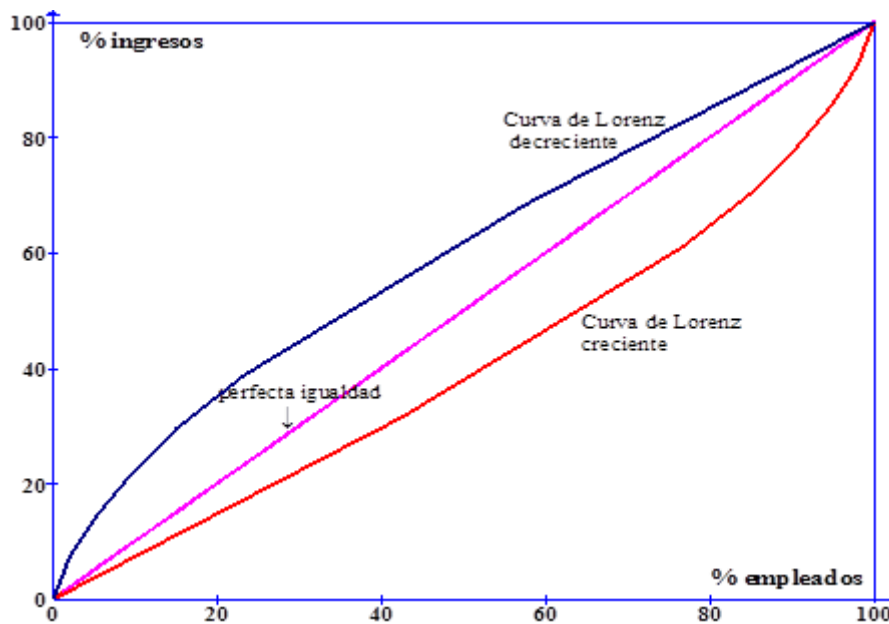
Cuando hablamos del consumo de tráfico de los usuarios, existen diferentes perfiles de consumo, variando desde los usuarios que usan sus conexiones a internet para aplicaciones de bajo coste de tráfico, como pueden ser el correo electrónico o la visualización de páginas web, hasta los que hacen un uso intensivo de sus conexiones para el intercambio de información mediante tecnologías P2P o descargas masivas desde servidores mediante tecnología de descarga directa, moviendo grandes volúmenes de información.

Para analizar esta desigualdad de consumo producido entre los usuarios de BA, se pueden adaptar a nuestros intereses herramientas matemáticas, más concretamente, métodos estadísticos, comúnmente aplicados en distribuciones de variables socioeconómicas, como la distribución de la renta per capita en un país.

Nos centraremos exclusivamente en dos métodos estadísticos: la curva de Lorenz y el coeficiente Gini.

La curva de Lorenz, ideada por Max Lorenz en 1905, es una representación gráfica que permite plasmar la distribución relativa de una variable en un dominio concreto. Si tomamos como ejemplo el salario obtenido por los empleados de una empresa, la curva se

trazaría considerando en el eje horizontal el porcentaje acumulado de empleados y en el eje vertical el porcentaje acumulado de los ingresos de dichos asalariados.



**Figura 45. Curva de Lorenz**  
**Elaboración propia**

La curva comienza en el origen de coordenadas (0,0) y finaliza en el punto (100,100) (salvo cuando no se expresa en porcentaje, sino normalizada, que es el punto 1,1) [37]. Cada punto de la curva se interpreta como el porcentaje acumulado hasta ese punto, siguiendo el ejemplo de los asalariados de una empresa, de los ingresos respecto del porcentaje de trabajadores. Para que la curva tenga esta forma, se ordenan en una tabla los ingresos de forma creciente, si se quiere que la curva quede con forma cóncava y, por tanto, por debajo de la línea de igualdad perfecta, o de forma decreciente (por encima de la línea de equidistribución) junto al número de empleados que la perciben (frecuencia). Posteriormente se calculan, para cada par “grupo de ingresos” - “número de empleados”, las columnas de porcentajes relativos acumulados, tanto de asalariados como de ingresos, obteniendo así los puntos de la curva. En la siguiente tabla se muestran los datos con los que se han elaborado las dos curvas de Lorenz representadas en la gráfica anterior:

**Tabla 6. Datos de curva de Lorenz**  
**Elaboración propia**

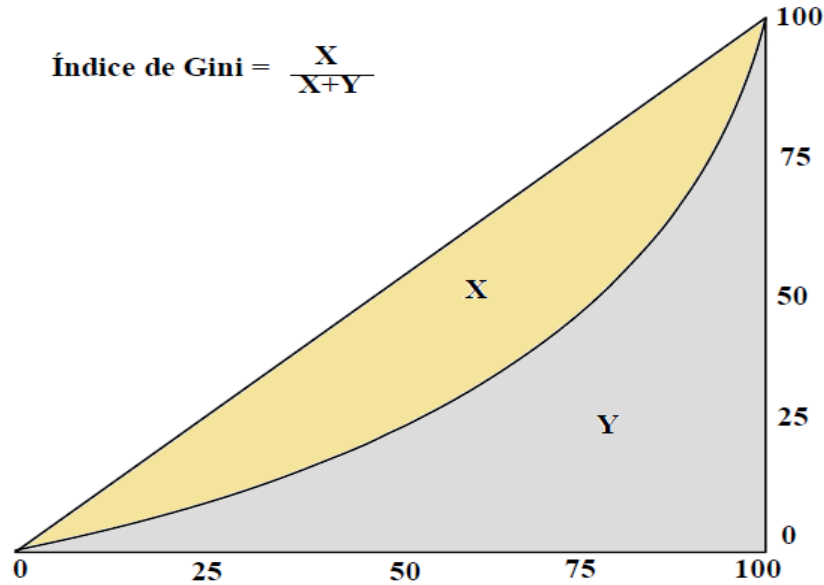
grupos salariales	empleados por grupo	ingresos por grupo	empleados acumulados	ingresos acumulados	Curva Lorenz creciente		Curva Lorenz decreciente	
					%empleados acumulados	%ingresos acumulados	%empleados acumulados	%ingresos acumulados
0	0	0	0	0	0	0	0	0
12000	40	480000	40	480000	42,6	31,6	2,1	7,6
14000	32	448000	72	928000	76,6	61,1	5,3	14,5
18000	8	144000	80	1072000	85,1	70,5	9,6	21,9
23000	5	115000	85	1187000	90,4	78,1	14,9	29,5
28000	4	112000	89	1299000	94,7	85,5	23,4	38,9
35000	3	105000	92	1404000	97,9	92,4	57,4	68,4
58000	2	116000	94	1520000	100	100	100	100
TOTAL	94	1520000						

En caso de que los ingresos percibidos por el total de asalariados se encontrasen repartidos de forma totalmente equitativa (es decir, cada trabajador percibiera exactamente la misma cantidad), la curva coincidiría con la recta que pasa por el origen formando un ángulo de 45 grados (la bisectriz del eje de ordenadas). Llevado a nuestro caso planteado, por ejemplo, el 30% de los trabajadores percibiría el 30% de los ingresos. Si por el contrario existiera desigualdad perfecta, es decir, si un único asalariado percibiese el total de los ingresos, la forma de la curva sería la misma que el eje de abscisas justo hasta el punto final, donde ascendería verticalmente hasta el punto (100,100).

En general la curva se encuentra en una situación intermedia entre estos dos puntos tan opuestos.

Para estimar en qué grado de desigualdad, o concentración, se encuentra una curva de Lorenz, vamos a usar el denominado **Coeficiente Gini**, desarrollado a principios del siglo XX por el estadista italiano Corrado Gini. Se trata de un número comprendido entre 0, que se corresponde con una variable cuya distribución se corresponde con la línea de perfecta igualdad, y 1, correspondiente por tanto con la línea de desigualdad perfecta. También es común encontrarlo expresado en porcentaje, tomando el nombre de **Índice de Gini**.

Este número es la relación entre el área encerrada entre la curva de Lorenz y la de igualdad perfecta (área X de la figura 46) dividida por todo el área encerrada entre la línea de igualdad perfecta y el eje de abscisas (área X + Y de la figura 37):



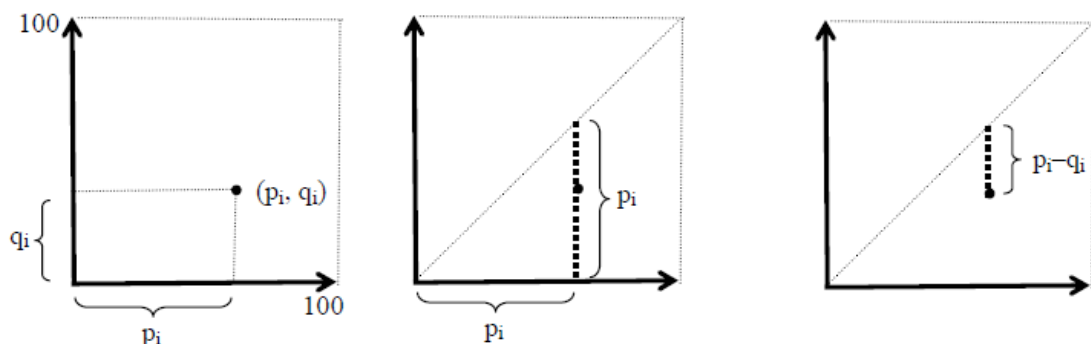
**Figura 46. Índice Gini**  
**Elaboración propia basada en [37]**

Cuanto mayor es el área X, más grande es la desigualdad dada en la variable, y por tanto, mayor el coeficiente Gini: siguiendo la fórmula que expresa el Índice Gini, si el área X tiende a cero, quiere decir que la curva de Lorenz tiende a ajustarse a la hipotenusa que se genera en la figura 47, por lo que al ser dicho área 0, y el denominador es  $0 + Y = Y$  para Y distinto de 0, la fórmula nos da 0: el número de la igualdad perfecta.

Si por el contrario X es todo el área del triángulo que se dibuja en 47, será por tanto Y quien tiende a 0, y por tanto la relación de Gini es  $X/X$ , lo cual da 1 como resultado, lo que viene a representar la desigualdad extrema.

Matemáticamente vamos a estudiar cómo se halla el coeficiente Gini en distribuciones de variables discretas, viendo un ejemplo:

Si el punto de coordenadas  $(p_i, q_i)$  es un punto aleatorio de la curva de Lorenz  $(p_i, q_i)$ , vamos a observar la figura 47:



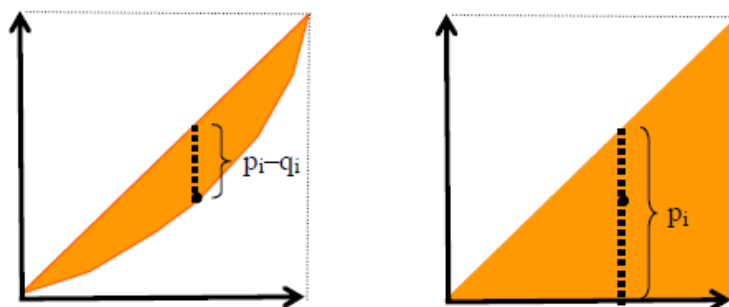
**Figura 47. a) punto  $(p_i, q_i)$ ; b) altura  $p_i$ ; c) diferencia  $p_i - q_i$   
Obtenidas de [38]**

Vemos que resulta evidente que un punto con el mismo desplazamiento en el eje de abscisas, si queremos que pertenezca a la recta de igualdad perfecta (bisectriz del cuadrante), tiene siempre ambas coordenadas idénticas entre sí  $(a, a, b, b, \dots, p_i, p_i)$ .

Por tanto, para hallar el valor que toma un punto no coincidente con la recta de igualdad perfecta, basta con hallar la diferencia de alturas entre el punto dado y el de la recta ( $p_i - q_i$ ).

Si ahora multiplicamos la distancia de cada punto de la curva de Lorenz,  $(p_i - q_i)$ , por su desplazamiento en el eje de abscisas,  $\Delta i$ , obtenemos el área que se encierra desde un punto a otro (base x altura). Sólo nos queda sumar todas estas áreas para obtener el área total entre la curva y la recta de igualdad perfecta.  $\sum (p_i - q_i) \times \Delta i$ .

Así, la suma  $\sum p_i \times \Delta i$  puede considerarse como el área del triángulo determinado por la diagonal y el eje de abscisas:



**Figura 48. a) área curva Lorenz y b) área encerrada igualdad perfecta  
Obtenidas de [38]**

El índice de Gini es la razón que existe entre ambas áreas, y como el desplazamiento en el eje de abscisas,  $\Delta i$ , es la misma también para ambas, se elimina de la relación:



$$\text{Coeficiente Gini [38]} = \frac{\sum (p_i - q_i)}{\sum p_i} \quad (1)$$

Volviendo a nuestro ejemplo de la distribución de los ingresos de los empleados, se muestran en la siguiente tabla los cálculos de su coeficiente Gini:

**Tabla 7. Cálculos coeficiente Gini**  
**Elaboración propia**

<b>Curva Lorenz</b>	$p_i$	0	42,6	76,6	85,1	90,4	94,7	97,9	100	$\sum_{r=1}^{r-1} (p_i - q_i)$	$\sum_{r=1}^{r-1} p_i$
	$q_i$	0	31,6	61,1	70,5	78,1	85,5	92,4	100		
	$(p_i - q_i)$		11,0	15,5	14,6	12,3	9,2	5,5			
										68,2	487,2

$$\text{Por tanto, su coeficiente Gini es } \frac{\sum_{r=1}^{r-1} (p_i - q_i)}{\sum_{r=1}^{r-1} p_i} = \frac{68,2}{487,2} = 0,14 \quad (2)$$

Como ya hemos comentado, el valor de este índice es el valor en porcentaje del coeficiente de Gini, así que podemos afirmar que su índice Gini es del 14%. Es un valor mucho más cercano al 0 que al 1 (o 100% porcentual), presentado pues una desigualdad relativamente moderada (la interpretación de los resultados ya dependerá exclusivamente de análisis que cada uno quiera hacer, de las variables que analice...).

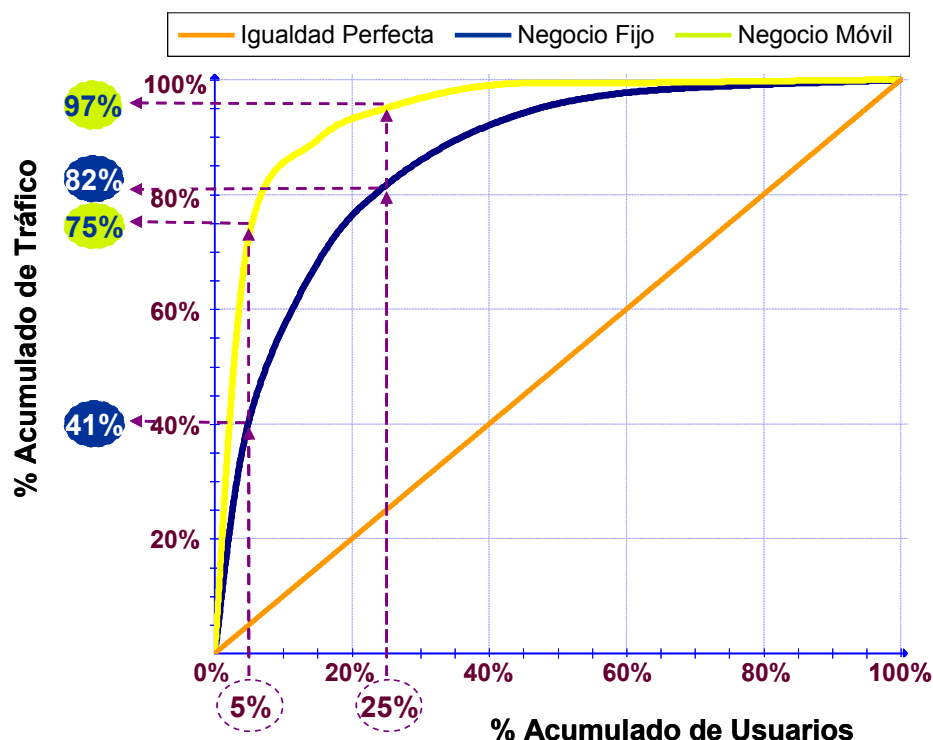
Gracias a esta herramienta matemática no sólo podemos afirmar que existe desigualdad entre el salario percibido por los trabajadores, sino que se puede cuantificar.

Rercordamos que uno de los objetivos fundamentales de este trabajo es conseguir plasmar los parámetros que son usados por las operadoras para establecer un criterio a la hora de diseñar sus redes. Veremos pues, que con la curva de Lorenz y el Coeficiente Gini las operadoras de banda ancha se hacen eco de una realidad que es, gracias a estas herramientas matemáticas, medible: las diferencias entre el consumo de datos entre usuarios.

### 5.1.2 Análisis de los *Heavy Users*

Las herramientas matemáticas vistas previamente nos van a ser de gran ayuda para poder analizar el comportamiento de los usuarios de BA, para lo cual hemos desarrollado en la siguiente gráfica las curvas de Lorenz, con datos de Telefónica relativos al mes de abril de

2009, de la distribución del consumo de tráfico dado en los usuarios tanto de BAF como de BAM.



**Figura 49. Desigualdad de consumo entre usuarios**

**Elaboración propia basada en datos aproximados de Telefónica de España**

Tan sólo un rápido vistazo de la gráfica nos da una idea de las significativas diferencias de consumo que se dan. Dicha desigualdad se da tanto en la BA fija como en la móvil, siendo todavía más extremas las desigualdades en la BAM. Los datos son demoledores: el **5% de los usuarios de BAF consume el 41% del tráfico. En BAM este consumo asciende hasta el 75%.** Si nos vamos hasta el 25% de los usuarios que más consumen, vemos que en BAF acumulan el 82% del tráfico, y en BAM la desorbitada cifra del 97%.

Numéricamente, este grado de desigualdad existente, hayado mediante el Coeficiente Gini, muestra los siguientes valores:  $G_{BAF} = 0.67$  y  $G_{BAM} = 0.88$

El conjunto de usuarios que hace un uso altamente intensivo de sus conexiones de BA son los denominados *Heavy Users* (usuarios “pesados”), y representan una gran relevancia para las operadoras, sobre todo a la hora de realizar planificaciones de red.

Dicha planificación de red se realiza, si hablamos de red fija, en base al tráfico descendente (Red → Usuario), ya que el tráfico de bajada es 2,6 veces el de subida, y por tanto, se ve más limitado en este sentido. Para definir con mayor exactitud qué usuarios

son *Heavy Users*, se determinó, a mediados de 2009 un umbral de 50 GB de volumen de bajada al mes.

En cuanto a la BAM, el tráfico de los equipos de Núcleo de Paquetes Móvil viene determinado por la suma de la intensidad tanto del tráfico ascendente como del descendente, por lo que es necesario dimensionar la red en base a todo el tráfico. Así, el umbral fijado para los *Heavy Users* “móviles” se fijó en 30 GB de volumen total.

Como curiosidad, en abril de 2009 el usuario particular que encabezó el ranking de *Heavy Users* en las redes fijas de Telefónica, con una tarifa plana contratada de 6 MB, descargó más de 1930 GB de volumen de datos. En julio de ese mismo año, la red móvil de Telefónica vio como su fluctuante ranking de *Heavy Users* era encabezado por un usuario cuyo consumo de tráfico total fue superior a los 560 GB (este mismo usuario ocupó la posición 12 del ranking el mes previo con casi la mitad de tráfico).

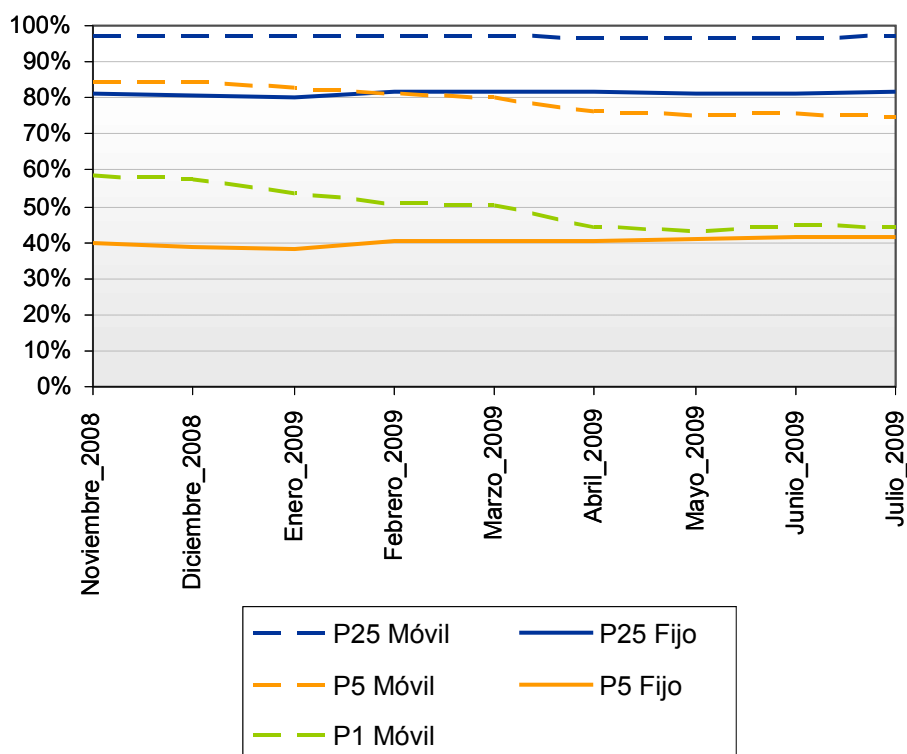
Otra característica de los *Heavy Users* móviles, es el escaso uso de la movilidad que hacen, ya que el 60% de éstos se pueden considerar estáticos por consumir la mayoría de su tráfico (>90%) en un único nodo. En cuanto a la cifra de usuarios que cursan su tráfico en dos nodos (o menos), nos vamos casi hasta el 80% del total. Se puede afirmar entonces que un alto porcentaje de *Heavy Users* móviles en realidad se comportan como si fuesen “fijos”.

El impacto de los *Heavy Users* en las redes de acceso es importante, sobre todo en la móvil, ya que se trata de un recurso compartido (no ocurre así en las redes fijas), y como consecuencia, casi la mitad de los elementos radio con alta carga se debe a la presencia de *Heavy Users* de BAM en sus celdas.

Es por eso que las operadoras están comenzando a usar técnicas que puedan garantizar una mayor igualdad en el uso de las redes fijas, como son la gestión de tráfico mediante el uso de DPI (*Deep Packet Inspection*) y PCRF (*Policy Changing and Rules Function*), que veremos con mayor detalle más adelante.

Para las redes móviles se está usando la gestión automática de velocidad (veremos consecuencias en el tráfico sobre su uso en la evolución de consumo de los *Heavy Users*). Otras opciones que se barajan son las estrategias de *Offloading*, que consisten básicamente en enrutar el tráfico de un usuario hacia la red fija, para evitar la sobrecarga de la red de acceso móvil, usando la tecnología Wifi y los Femtonodos.

La evolución del consumo de los *Heavy Users* podemos apreciarla en la siguiente gráfica:

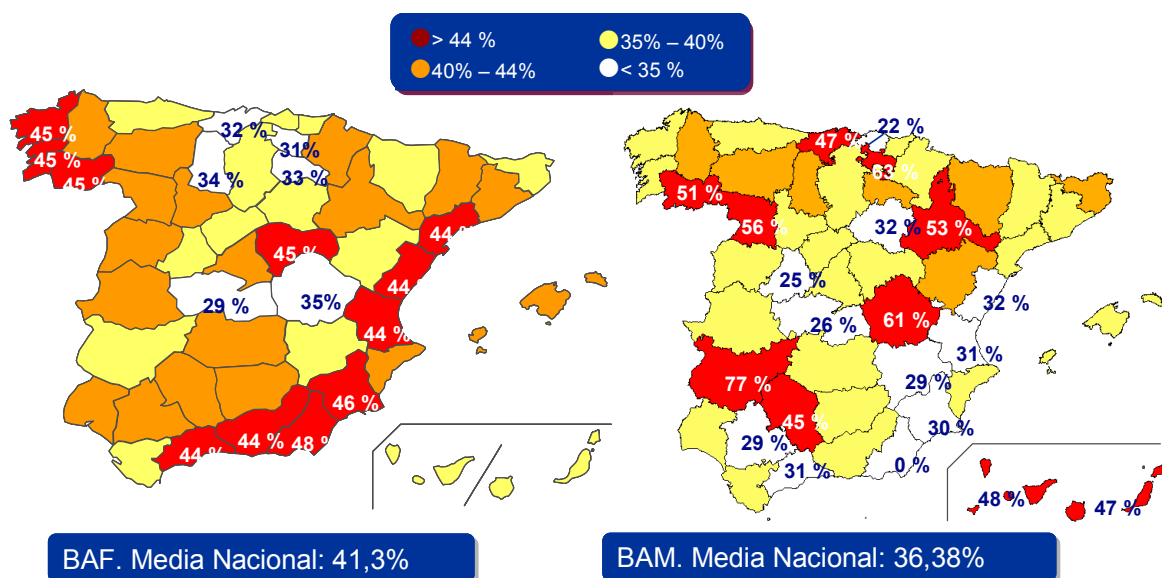


**Figura 50. Tendencia *Heavy Users***  
**Elaboración propia basada en datos aproximados de Telefónica SA**

Se puede observar que la tendencia de los *Heavy Users* en la BAF se mantiene prácticamente igual durante estos 9 meses, pero no así la tendencia en la BAM, donde se puede apreciar que sufre un descenso apreciable en el percentil 5 y más apreciable aun en el percentil uno, lo que significa una caída en el consumo de los usuarios más pesados, concretamente, casi un 10% en el 1% de los usuarios más pesados. Esto se debe principalmente a la introducción por parte de las operadoras de un método que “lucha” contra el uso abusivo por parte de los *Heavy Users*. Se trata de la regularización de los clientes mediante la denominada Gestión Automática de Velocidad, llevada a cabo desde principios de 2009 hasta mayo de ese mismo año. Anterior a esta fecha, no había ningún tipo de control automático de velocidad para las conexiones de BAM.

Dicha gestión de velocidad consiste en la reducción drástica de velocidad de ancho de banda para los usuarios cuando superan el límite de volumen de descarga que tienen contratado, aunque dependiendo del operador, las condiciones pueden variar algo. De esta forma, el usuario puede seguir usando su conexión móvil a internet, aunque de manera mucho más lenta.

Otro punto de análisis es la localización de los *Heavy Users* en todo el territorio nacional. En la figura 51 podemos apreciar la distribución provincial del tráfico generado por los *Heavy Users* respecto del total:



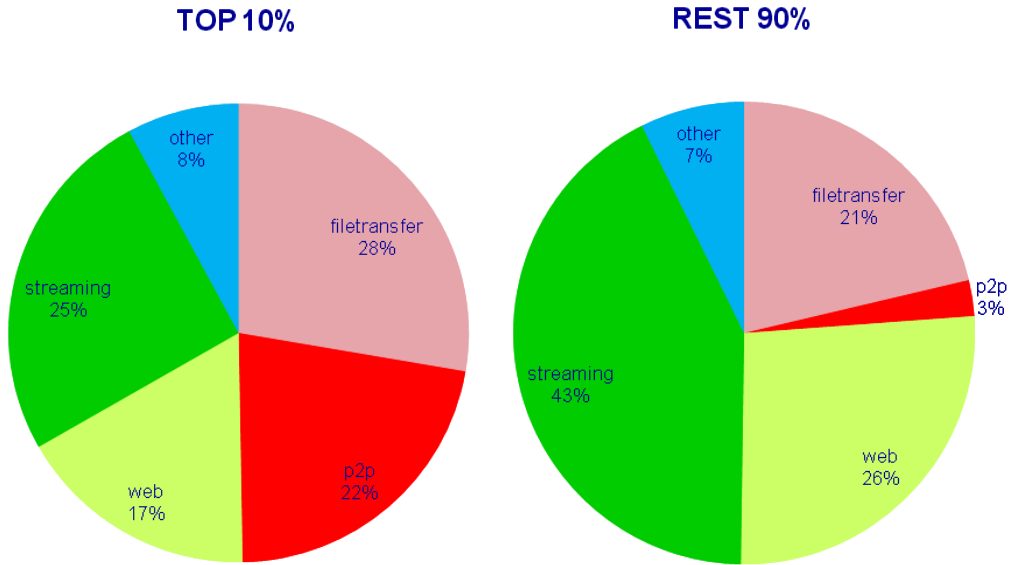
**Figura 51. Distribución geográfica *Heavy Users* BAM y BAF**  
**Elaboración propia basada en datos aproximados de Telefónica de España**

En los mapas se puede observar perfectamente que las provincias con fuerte presencia de *Heavy Users* en BAF tienen escasa presencia en BAM y viceversa. La excepción, Orense, que mantiene altos índices de tráfico de *Heavy Users* de los dos tipos.

Un aspecto que realza las diferencias entre los *Heavy Users* y el resto de usuarios, además del volumen de tráfico descargado, es la tipología vinculada a este tráfico.

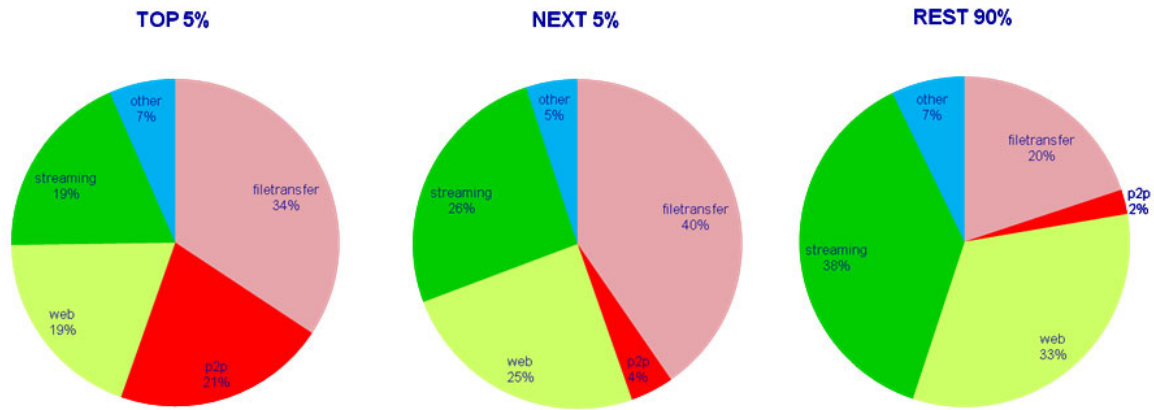
Para profundizar algo más, y poder apreciar mejor las diferencias existentes entre los *Heavy Users*, vamos a analizar la tipología de las BAM y la BAF por separado.

En la BAM, como es fácil de prever, la transferencia de archivos (es decir, desde servidores de descarga directa, como Rapidshare, Megaupload), el streaming y el P2P son los tipos de tráfico mayoritariamente cursados por los *Heavy Users*. Sorprende más el porcentaje de tráfico streaming para el resto de usuarios, el 90% que menos consume, cercano a la mitad del total de su tráfico (aunque esta tasa de streaming prácticamente dobla a la del "Top 10%", el volumen de datos es muy inferior), si bien es cierto que un dato que resulta claramente diferenciador es la reducción de las tasas porcentuales de tráfico P2P, que son siete veces inferiores que en los usuarios más pesados.



**Figura 52. Tipología de tráfico BAM del 10% más consumidor frente al resto**  
**Elaboración propia basada en datos aproximados de Telefónica de España**

Si nos remitimos a las diferentes tipologías del tráfico de la banda ancha fija en base al volumen de consumo, nos encontramos un panorama, entre los usuarios más pesados, muy parecido al que acabamos de ver en la BAM. El P2P juega un papel muy significativo en las conexiones pertenecientes la “Top 5%”, siendo además un elemento claramente diferenciador, ya que a medida que el usuario consume menos, el porcentaje baja drásticamente, más incluso que en la BAM, con un tasa diez veces menor. En cuanto al streaming, aumenta su porcentaje en las conexiones de menor consumo, como también le ocurre al tráfico Web. Por último, cabría destacar que en el grupo de usuarios “next 5%”, el volumen generado por los protocolos de intercambio de archivos sufre un repunte, absorbiendo en parte la fuerte caída del volumen de datos del tráfico P2P, por lo que este grupo de usuarios sigue siendo de alto consumo, aunque no al nivel de los *Heavy Users*. Para el resto de usuarios, la tasa de este tráfico disminuye a la mitad. Todo esto podemos apreciarlo en la siguiente figura:

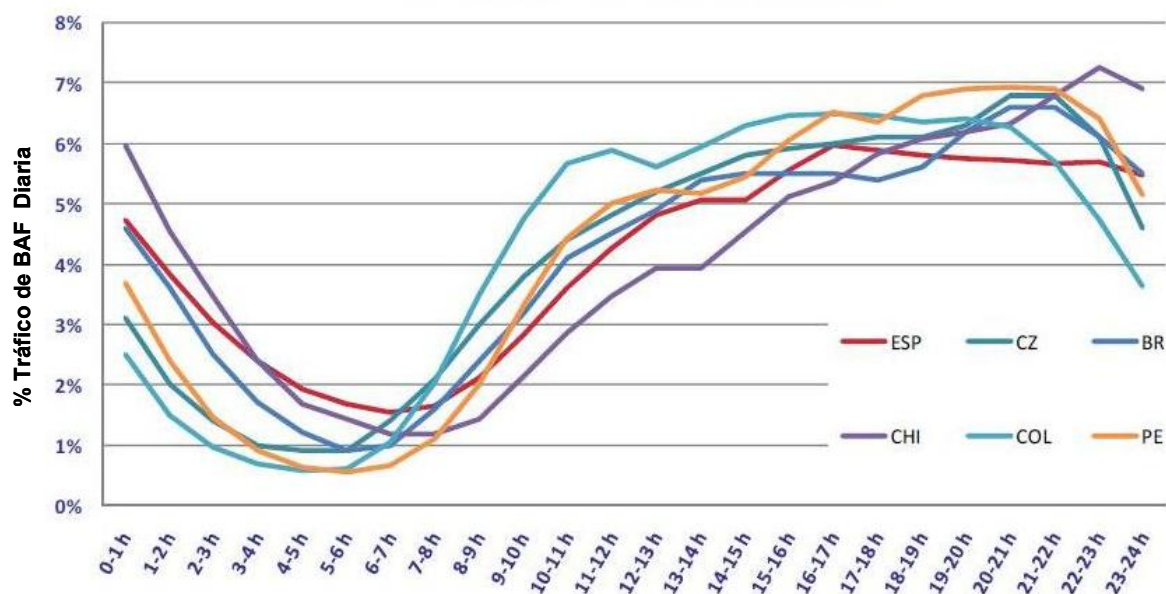


**Figura 53. Tipología de tráfico BAF del 10% más consumidor frente al resto**  
**Elaboración propia basada en datos aproximados de Telefónica de España**

## 5.2 Evolución del tráfico durante el día

### 5.2.1 Consumo de tráfico de BA a lo largo del día

En nuestra caracterización del usuario, vamos a ver cómo se “comporta” a lo largo del día, viendo así en qué momentos hace un uso más intensivo del ancho de banda y cuándo lo hace en menor medida. Es importante poder ver cuál es el comportamiento de los usuarios en diferentes regiones para poder contrastar las diferencias o coincidencias del patrón de comportamiento, por lo que la figura 54 elaborada con datos de operadoras europeas relativas al año 2010, muestra una comparativa entre varias operadoras de BA fija del uso que realizan sus clientes durante las 24h del día. Estas operadoras anónimas son tanto europeas como suramericanas, para poder ver si el comportamiento de los clientes es extrapolable para cualquier zona geográfica o por el contrario la “cultura” de uso adquirida por los clientes de la BA es dependiente de la región donde se encuentre cada operadora, con factores socioeconómicos o geográficos asociados a las mismas.

**Distribución del Tráfico Diario de BAF****Figura 54. Distribución del tráfico diario BAF****Elaboración propia basada en datos aproximados de Telefónica SA**

Las curvas muestran bastante parecido unas de otras, con un descenso continuado de la actividad durante la noche. Presentan picos de baja actividad entre las 5 y las 7 de la mañana, y un ascenso del tráfico por hora hasta su nivel máximo. La franja de mayor consumo de ancho de banda se hace más extensa que en el pico nocturno de mínima actividad, establecida entre las 17h y las 21h, presentando además diferencias algo más notables entre las operadoras del estudio.

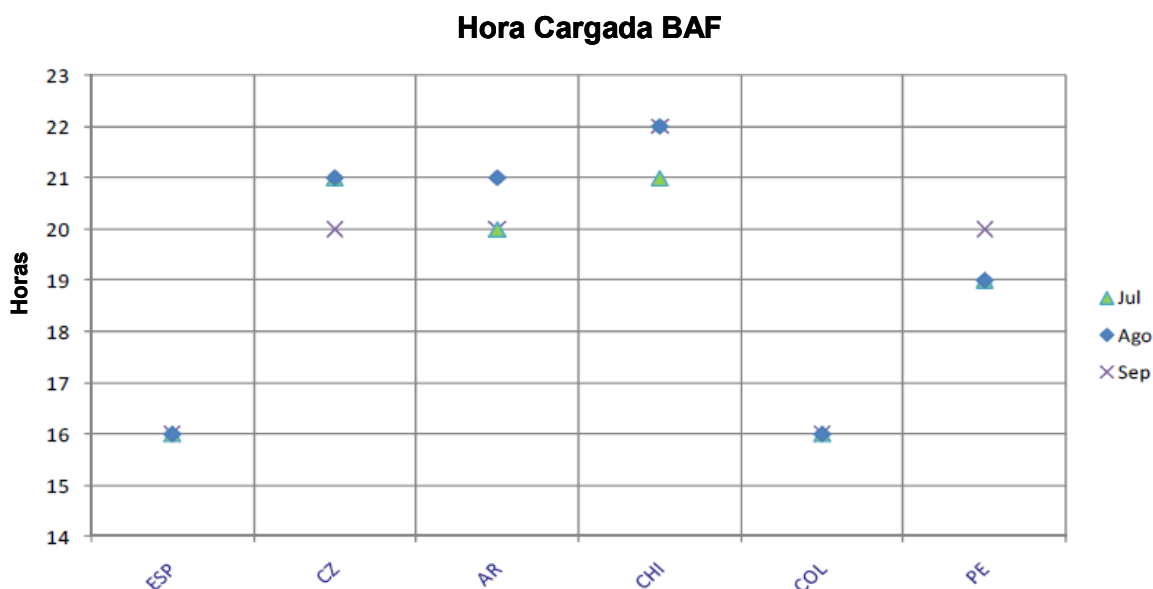
Centrándonos en los datos de España, presenta un máximo uso de la BA entorno a las 16h, pero el nivel de uso se mantiene con apenas un ligero descenso hasta casi medianoche. Este máximo se produce tras el período de la comida, momento donde se realiza el mayor número de conexiones, debido principalmente a que es el período del día donde la mayoría de los usuarios, tanto estudiantes como trabajadores (o ambos a la vez) convergen mayoritariamente en un período de descanso de sus actividades: quienes realizan actividades exclusivamente por la mañana, han terminado ya, quienes las realizan exclusivamente por la tarde aun no han comenzado, y quienes las realizan a turno partido, disfrutan de su descanso. Pero hay que tener en cuenta que el descenso de tráfico siguiente a la hora cargada es muy suave, y no hay grandes cambios hasta medianoche (cuando los usuarios comienzan a dormir mayoritariamente), diferenciando en parte con el resto de operadoras, que registran cambios más abruptos.



Cabe matizar que en los meses de realización del estudio copa prácticamente la estación estival, de modo que la actividad referente a estudiantes apenas tiene incidencia en la hora cargada por no tratarse de período lectivo. Además, los empleados de un importante número de empresas realizan jornada continua, lo que provoca que tras la hora pico el flujo de datos en la red se mantenga bastante estable.

En la figura 55 podemos ver que la hora con mayor tráfico promediada en España se mantiene invariable durante los tres meses del estudio, algo que casi se da también en el resto de operadoras, donde apenas se mueve su hora cargada.

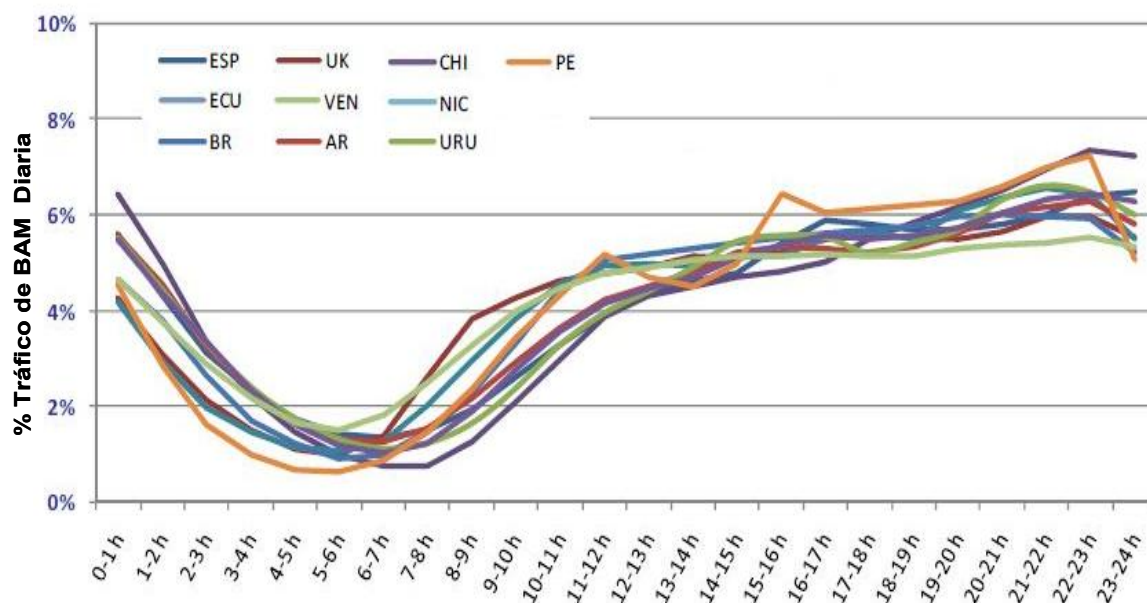
Por otro lado, vemos en la figura 55 que del conjunto de operadoras analizadas, resulta más común encontrar la hora cargada cercana a las ocho de la tarde, independientemente de si se trata de un país europeo o americano.



**Figura 55. Hora cargada BAF en diferentes regiones**  
**Elaboración propia basada en datos aproximados de Telefónica SA**

La distribución de tráfico en la BA móvil a lo largo del día podemos apreciarla en la figura 56, que al igual que ocurre con la distribución de tráfico BAF, está elaborada con datos de 2010, igualmente con operadoras anónimas tanto europeas como de latinoamérica.

### Distribución del Tráfico Diario de BAM



**Figura 56. Distribución del tráfico diario BAM**

**Elaboración propia basada en datos aproximados de Telefónica SA**

La gráfico muestra los datos de 10 operadoras. Curiosamente la forma de las curvas es bastante similar, tanto el descenso producido por la noche, como el ligero ascenso desde las 13h hasta casi media noche, y siendo más concretos podemos afirmar que la franja de mayor tráfico se da entre las 20h y las 23h.

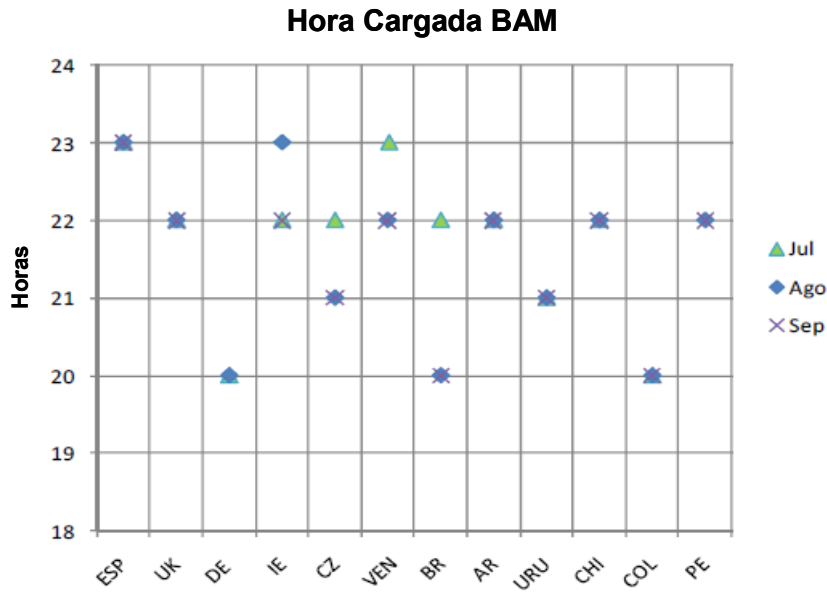
Mayor diferencia de tráfico entre las operadoras se puede visualizar en el tramo entre las 8h y las 11h, seguramente debido a la hora en que cada país se “despierta”, mostrándose Reino Unido como el país con la actividad de red significativa más madrugadora.

Comparando las gráficas de fijo y móvil, podemos deducir que la forma que dibujan las curvas guarda parecido, si bien en la red fija el tráfico comienza a decaer significativamente en torno a las 20 horas, mientras que en la red móvil el flujo de datos persiste hasta las 23-24 horas.

En la figura 57 podemos apreciar como además la hora de mayor tráfico en las redes de datos móviles se desplaza varias horas, registrando picos de actividad ya de noche en su mayoría.

En España la hora cargada móvil se sitúa en torno a las 23 horas, tras la cena, frente a las 16 horas de la BAF, tras la comida.

En el resto de países la hora cargada (figura 57) se sitúa mayoritariamente en torno a las 22 horas, sin apenas variación de esta en los meses del estudio.



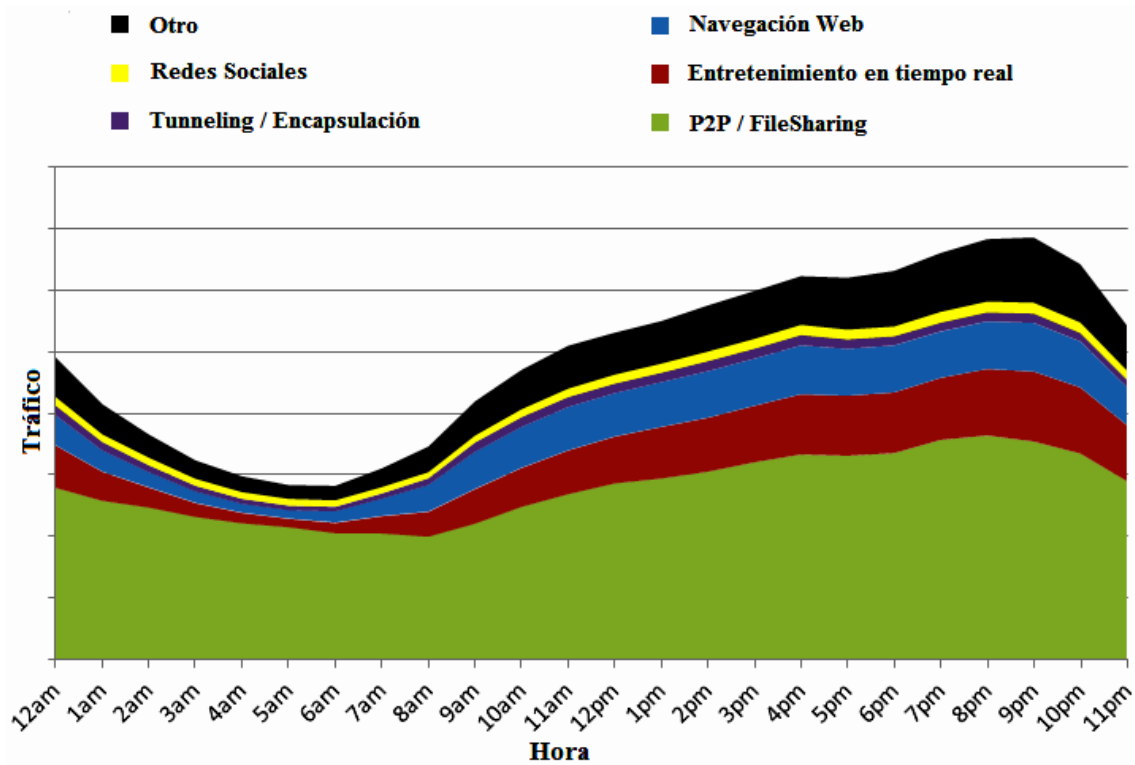
**Figura 57. Hora cargada BAM en diferentes regiones**  
**Elaboración propia basada en datos aproximados de Telefónica SA**

### 5.2.2 Tipología del tráfico a lo largo del día

Conocido ya el patrón de comportamiento de uso de banda ancha del usuario a lo largo del día en lo referente a “cuánto” tráfico genera, nos surge otra duda : ¿qué es lo que le interesa al usuario? Para saber “qué” clase de tráfico genera, nos remitimos a las siguientes cuatro figuras que hemos elaborado con datos de la empresa tecnológica Sandvine, que muestran un interesante desglose de la tipología del tráfico, es decir, los diferentes tipos de tráfico, durante el transcurso del día, separando el tráfico ascendente y descendente tanto de BAF como de BAM. Hay otra sección más adelante en la que comentamos la tipología del tráfico de usuario en profundidad, si bien hemos creído oportuno introducir estas figuras aquí, por prevalecer el análisis durante una jornada que la tipología en sí.

Las dos primeras figuras se centran en la tipología media del tráfico de un usuario de BAF de subida, en primer lugar, y de bajada a lo largo del día. Los datos proceden de la región de Europa en su conjunto.

La figura 58 muestra el flujo de subida del tráfico BAF europeo, con datos del primer trimestre de este mismo año (2012).



**Figura 58. Evolución tipológica BAF de subida en Europa durante el día**  
**Información obtenida de [39]**

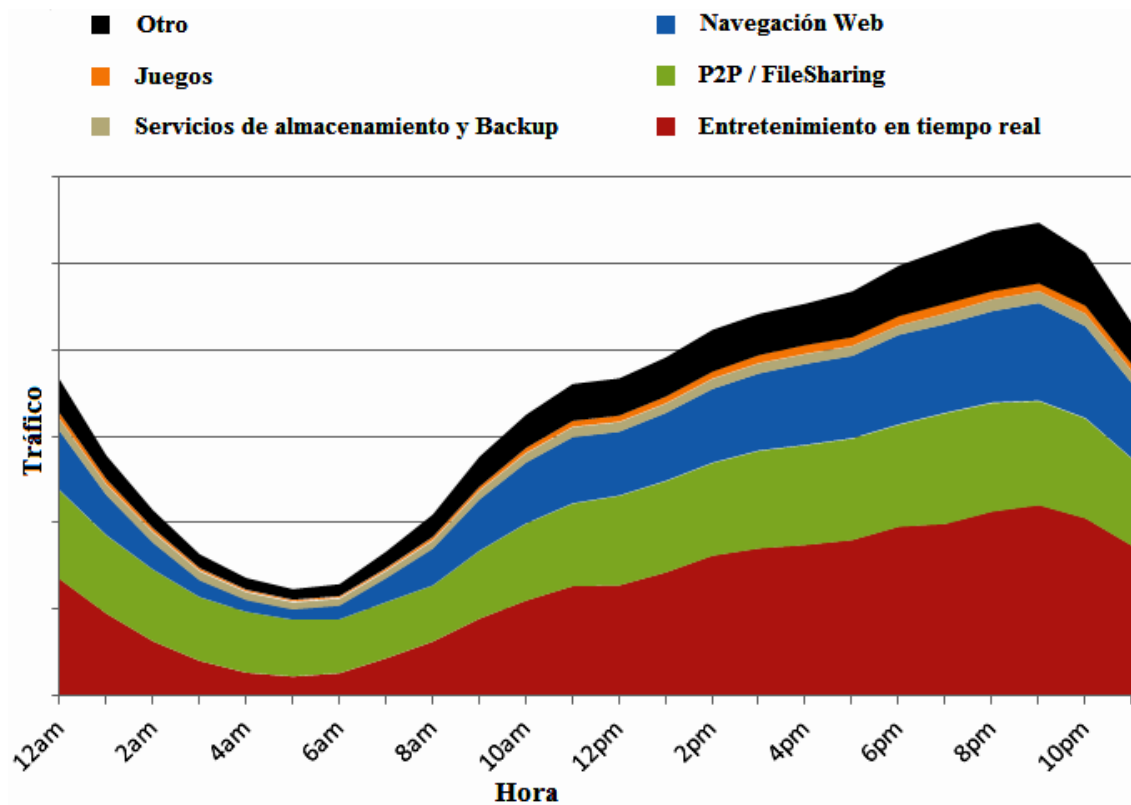
El estudio tipológico se centra en los protocolos que analizan los equipos destinados a esta función (en la sección de herramientas de control de tráfico se detallan estos equipos). Concretando en esta figura, se divide el tráfico en los 5 protocolos con más presencia en el tráfico, y una sexta categoría que agrupa el resto de protocolos, tanto de menor presencia como los que los equipos no han sido capaces de clasificar.

Lo primero que salta a la vista nada más mirar la figura es que el tráfico de intercambio de ficheros, es decir, P2P y FileSharing, agrupados en una misma categoría, es con diferencia el más abundante en cualquier tramo de franja horaria. Eso sí, fijándonos más detenidamente, vemos que el P2P es el tipo de tráfico que menos variación va sufriendo de una hora a otra, donde en su máximo diario ni siquiera dobla su tráfico mínimo, mientras que el resto de tráficos, poco presentes en las primeras horas de la madrugada, se multiplican hasta por diez en la hora de máximo flujo de tráfico, sobre las ocho de la tarde. De esta apreciación se puede deducir que el P2P guarda una gran diferencia de uso respecto al resto del tráfico, y es la no presencia del usuario “frente al equipo” para que este se produzca. Evidentemente no tiene sentido que un PC genere tráfico de navegación Web si el usuario está, por ejemplo, durmiendo, pero sí que un programa P2P continúa con su funcionamiento siempre que el PC (y el programa que usa el protocolo) estén en

marcha, y por lo que se ve en la figura, no son pocos los usuarios que mantienen su equipo encendido durante la noche con el objetivo de acelerar sus intercambios de ficheros (a mayor número de horas en funcionamiento, mayor cantidad de ficheros compartidos).

También podemos ver en la figura que el segundo tipo de tráfico que más datos genera, en subida, es el destinado a entretenimiento en tiempo real, que engloba los protocolos de audio y vídeo streaming. La navegación Web se ha visto sobrepasada este año por los protocolos relacionados con el entretenimiento en tiempo real, puesto que a pesar de que el tráfico Web tiene uno uso mucho más extendido, el tráfico streaming suele conllevar grandes tasas de datos asociados a su funcionamiento.

En la figura 59 podemos ver la evolución tipológica del tráfico de BAF europeo de bajada a lo largo del día.



**Figura 59. Evolución tipológica BAF de bajada en Europa durante el día**  
**Información obtenida de [39]**

En el tráfico de bajada, al igual que en el de subida, los tres flujos de datos más significativos se mantienen, pero no en el mismo orden, habiendo superado el entretenimiento en tiempo real a la navegación Web en el último año, y no sólo eso, sino

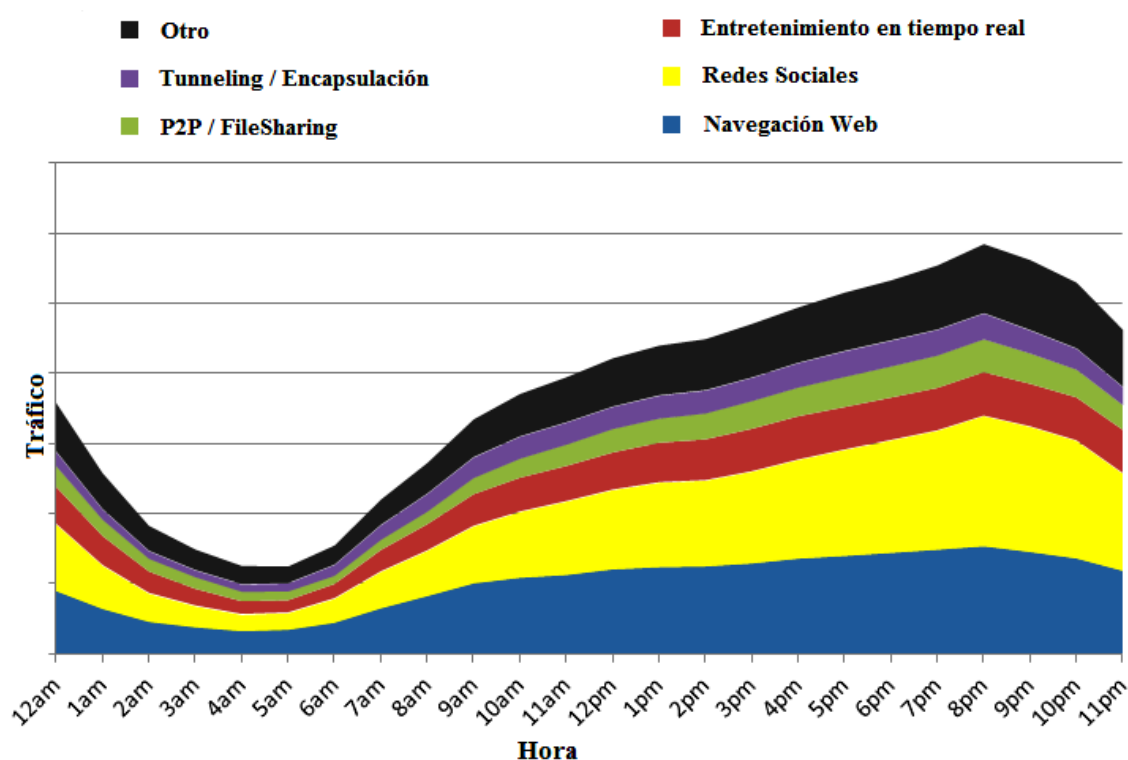
que además, según se muestra en la figura, las diferencias porcentuales de la cuantía del tráfico entre el tráfico de entretenimiento y el de navegación Web y P2P es importante.

Llama la atención la gran diferencia en esta clasificación tipológica del tráfico P2P, donde en el tráfico ascendente era el primero con una enorme diferencia con el resto de flujos, frente al segundo escalón donde se sitúa en el flujo descendente, con una presencia porcentual, dentro de que es importante, bastante menos significativa.

En este caso todos los protocolos siguen un patrón similar, con baja actividad nocturna y multiplicándose de día, hasta alcanzar su máximo, si bien nuevamente el P2P muestra gran actividad nocturna y, por tanto, siendo el flujo de tráfico que menos crece durante el día por ser el más constante.

Vamos a pasar ahora a ver las figuras que muestra la evolución del tráfico BAM, y su tipología a lo largo del día, con datos recogidos de la región de América del Norte durante 2011, tanto en el flujo de datos ascendente en primer lugar, como el descendente a continuación de éste.

En la figura 60 se muestra la distribución del tráfico BAM de subida.



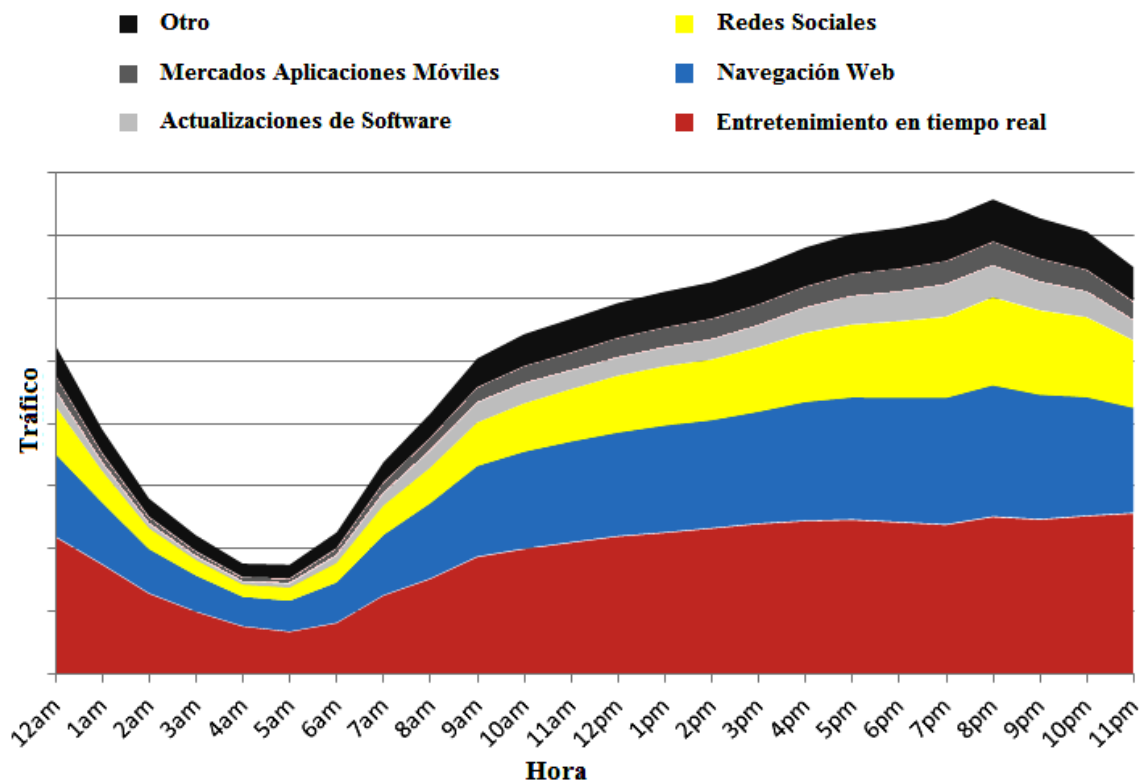
**Figura 60. Evolución tipológica BAM de subida en América del Norte durante el día**  
Información obtenida de [40]

Al contrario de lo que ocurre en BAF, aquí el flujo P2P tiene poco protagonismo, e incluso, como veremos en la figura del tráfico descendente, desaparece de los puestos de arriba en cuanto a la cuantía del tráfico.

Otra apreciación que podemos hacer viendo la figura, es que podemos ver que el tráfico de redes sociales es el más significativo en hora cargada, por delante incluso de la navegación Web, a pesar de que éste ocupa el primer puesto en cuanto a generación de tráfico durante la noche.

En cuanto a la diferencia total de tráfico producido durante la noche y el día, es mucho más significativa que la que se produce en el tráfico de subida BAF.

A continuación, podemos observar en la figura 61 la evolución de la tipología del tráfico BAM de bajada en el transcurso del día.



**Figura 61. Evolución tipológica BAM de bajada en América del Norte durante el día**  
**Información obtenida de [40]**

Se produce una situación similar a la del tráfico fijo: el protocolo que más tráfico mueve es agrupado en la categoría de entretenimiento en tiempo real, bajando la navegación Web, respecto al año pasado, al segundo lugar, y donde el producido en las redes sociales ocupa el tercer puesto.

El flujo de datos acaparado por estas tres primeras categorías de tráfico representa más del 80% del tráfico total.

En esta figura se aprecia un cambio de guión en la BAM, donde por primera vez deja de estar en el Top 5 el tráfico P2P. A cambio, entran dos categorías a completar el quinteto de mayor volumen de datos, que son los flujos de datos producidos por la actualización del software del dispositivo, así como también irrumpe el tráfico de los mercados de aplicaciones móviles, como iTunes de Apple o Play Store de Android. Entre ambos superan el 10% del tráfico total de bajada en BAM.

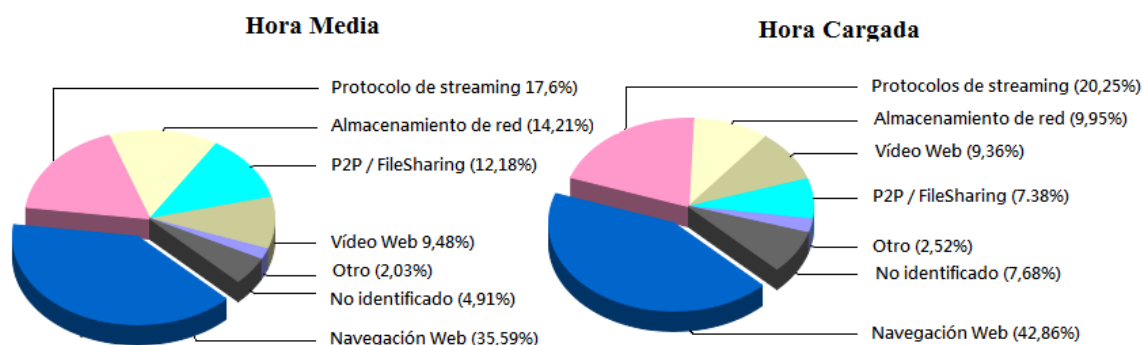
### 5.3 Tipología del tráfico y su evolución

Un matiz que puede marcar, para una operadora, el éxito en el transporte de la información en sus redes es el conocimiento, en la medida de lo posible, del tipo de información de la que el usuario hace uso, dado que hay algunos tipos de tráfico, como el caso del vídeo, que requiere ciertas particularidades que la operadora ha de tener en cuenta en el diseño y despliegue de sus redes.

#### 5.3.1 Tipología del tráfico en hora media y hora cargada

Por supuesto, ni que decir tiene lo importante que es para una operadora conocer la demanda en hora cargada, la de mayor consumo, así como la hora media. De esta forma, vamos a conocer las diferencias de demanda de los diferentes tipos de tráfico entre ambas.

A modo de ejemplo, vemos en la figura 62, elaborada con datos de una operadora BAF Europea en 2010, de tráfico agregado (agrupados los tráficos de subida y bajada).



**Figura 62. Evolución tipológica BAF: hora media vs hora cargada**  
**Elaboración propia con datos de Telefónica SA**

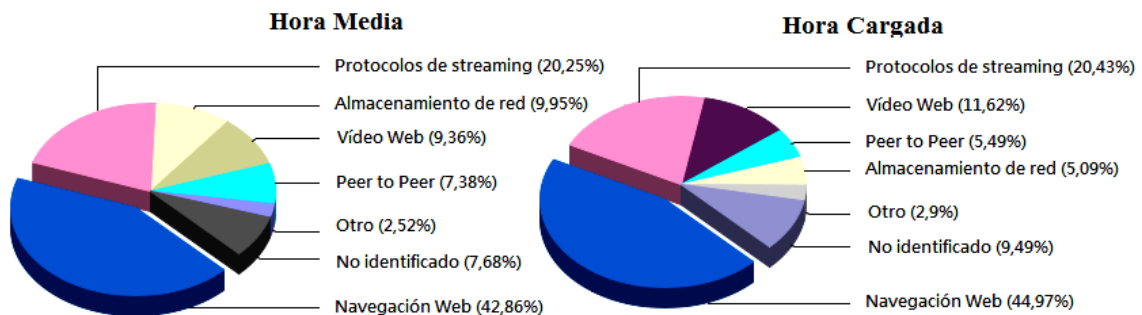
La tendencia de la demanda de tipos de tráfico en hora cargada parece clara: tienden a intensificarse, porcentualmente, los tipos de protocolos más demandados en la hora



media, como son en este caso la navegación Web y los protocolos de streaming (recordamos que también podemos denominar esta categoría como entretenimiento en tiempo real).

El caso del P2P es algo más especial, puesto que no requiere especialmente que el usuario se encuentre “frente al PC” para que este se dé, de modo que tiene sentido que a pesar de ser uno de los tipos de datos más demandados de media por hora, caiga su caudal porcentualmente en detrimento de otros flujos que requieren la participación física del usuario durante la hora cargada. Podríamos hacer el mismo razonamiento con el tráfico de almacenamiento de red, si bien es posible que las tareas automáticas de copias de resguardo sean ejecutadas arbitrariamente fuera del período de máximo transito de datos.

La figura 63 también muestra a modo de ejemplo las diferencias producidas en hora media y cargada de una operadora BAM europea, con datos de 2010



**Figura 63. Evolución tipológica BAM: hora media vs hora cargada**  
**Elaboración propia con datos de Telefónica SA**

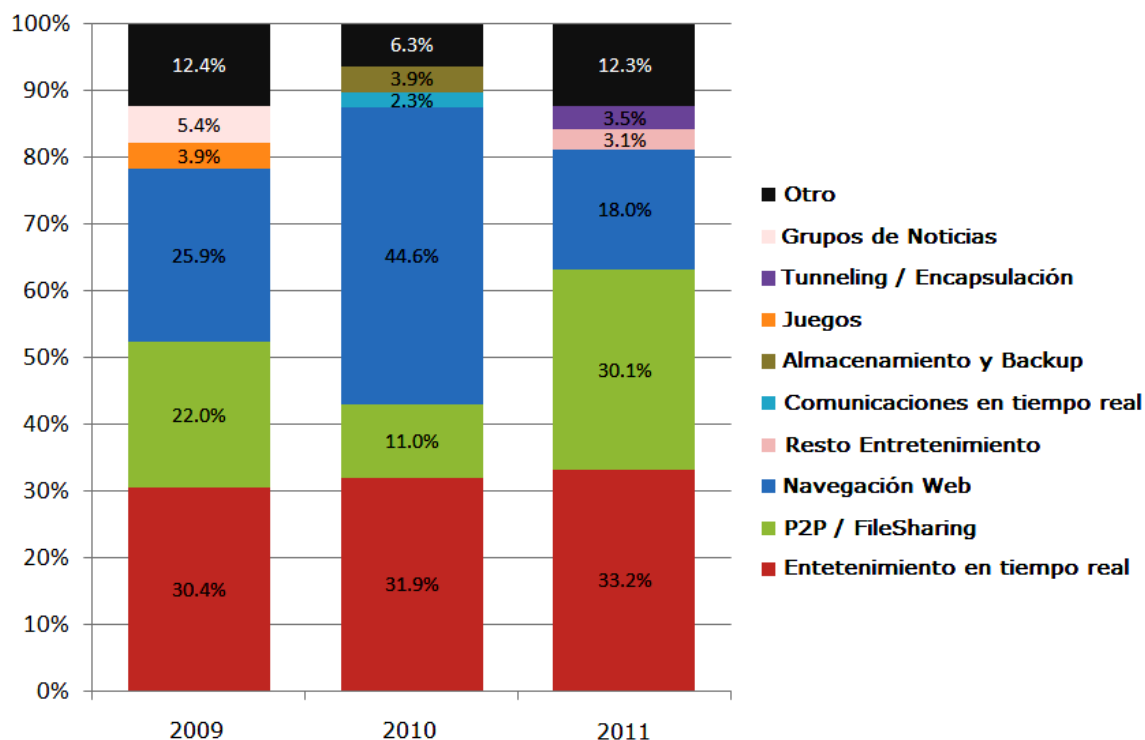
En este caso, la tendencia del tráfico sigue la misma pauta que en el tráfico fijo, donde crecen los protocolos más demandados en hora media, con los matices también aplicados al P2P y al almacenamiento de red.

Por buscar una ligera diferencia respecto al tráfico BAF, podemos ver que las diferencias porcentuales que se producen en los diferentes tipos de tráfico durante la hora cargada son de menor cuantía.

### 5.3.2 Evolución de la tipología del tráfico en los últimos años

Un breve examen de la figura 64 revela algunas conclusiones importantes. En primer lugar podemos observar la relativa constancia, venida a más, del entretenimiento en

tiempo real dentro de la hora cargada durante los tres años del estudio, donde en el primer trimestre de 2012 ha aumentado hasta el 35,4% su ponderación.



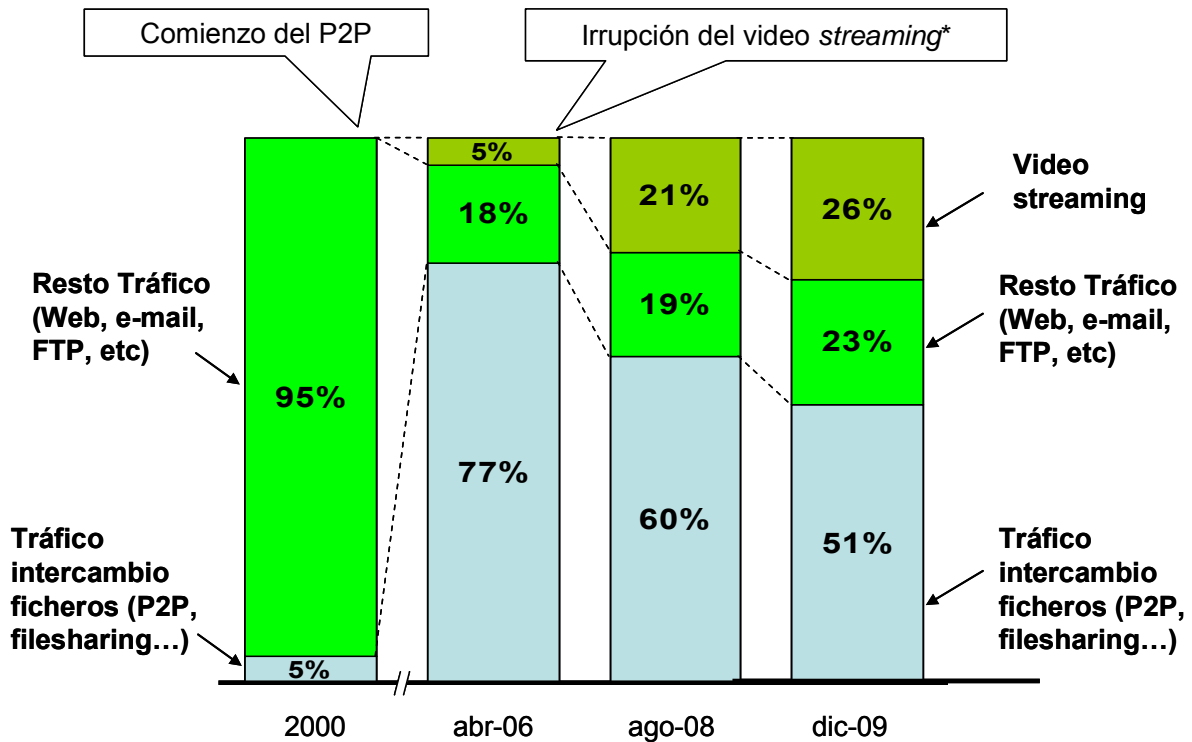
**Figura 64. Evolución de la tipología del tráfico en Europa**  
**Información obtenida de [41]**

En segundo lugar, el tráfico P2P / FileSharing ha dado un importante salto cuantitativo desde 2010, ya que en 2011 prácticamente triplicó su tasa porcentual. Actualmente ha bajado hasta situarse cerca del 28%. Este gran aumento del P2P ha producido el detrimento del tráfico de Navegación Web, cuya ponderación en la hora pico bajó a menos de la mitad en 2011, y donde actualmente parece haber encontrado cierta constancia, entorno al 19%.

Cabe destacar que en la actualidad aparece en cuarto lugar porcentual, con una ponderación muy inferior a estos tres tipos de tráfico, el tráfico procedente de las redes sociales, el cual, hasta este año, no había aparecido con un valor tan importante.

En suma, la figura nos permite apreciar la dificultad que entraña para una operadora la planificación de sus redes a causa de los cambios en la demanda de los diferentes tipos de tráfico.

Vamos a ver quizás el tipo de tráfico que más repercusión ha tenido en la banda ancha fija durante los últimos años a nivel mundial, el P2P. Centrándonos en su evolución histórica en nuestro país, la figura 65 retrata esto perfectamente.

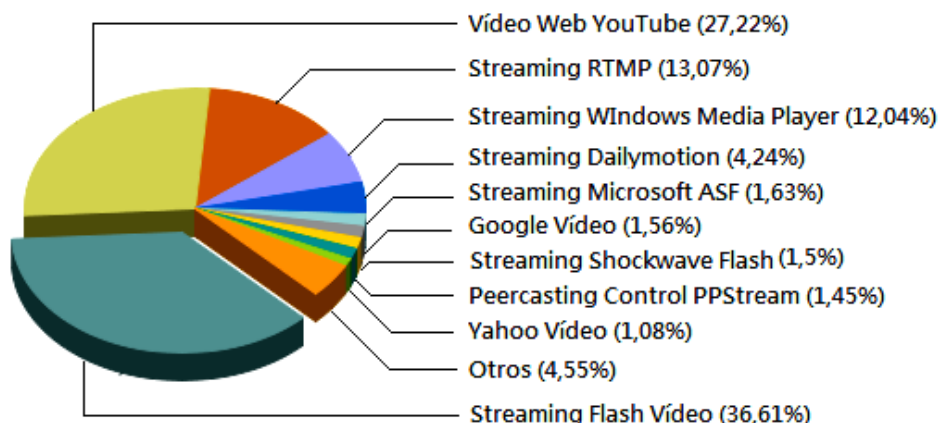


**Figura 65. Evolución tráfico P2P en España**  
**Elaboración propia con datos de Telefónica de España**

El consumo de P2P en nuestro país ha sido realmente alto, llegando a copar más de tres cuartas partes del volumen total de datos generados durante 2006. la tendencia generalizada actual ha seguido la linea marcada en la figura, con un importante descenso del P2P a favor de los flujos de datos tanto de navegación Web como de entretenimiento en tiempo real.

Y precisamente, dejando un poco atrás los enormes números del tráfico P2P, subyace la idea de su “sucesor”, el tipo de tráfico que está alcanzando enormes cantidades de volumen de datos, y seguirá evolucionando en esta dirección en los próximos años: no es otro que el vídeo en sus diferentes matices. Para conocer mejor al conjunto de tipos de tráfico que en suma dan como resultado todo el tráfico vídeo que viaja por la redes de banda ancha, podemos apreciar la figura 66, que presenta datos de Sandvine de una operadora BAF de Europea Central en 2009.

### Tipología del vídeo



**Figura 66. Tipología del vídeo**

**Elaboración propia con datos de Telefónica SA, 2009**

Para terminar el estudio tipológico, es valioso conocer las aplicaciones que usan los usuarios que más tráfico demandan durante la hora pico.

A continuación, la tabla revela dichas aplicaciones BAF para Europa (Sandvine, 2012)

**Tabla 8. Clasificación de aplicaciones BAF por demanda de tráfico**  
**Información obtenida de [39]**

Tráfico de subida			Tráfico de bajada		Tráfico agregado	
Ranking	Aplicación	Share	Aplicación	Share	Aplicación	Share
1	BitTorrent	31,7%	HTTP	19,5%	BitTorrent	20,3%
2	eDonkey	18,2%	YouTube	18,0%	HTTP	17,7%
3	HTTP	11,3%	BitTorrent	17,2%	YouTube	15,3%
4	YouTube	5,2%	eDonkey	7,0%	eDonkey	9,4%
5	Skype	2,5%	Flash Video	5,6%	Flash Video	4,7%
6	SSL	2,5%	RTMP	2,8%	RTMP	2,5%
7	Teredo	2,3%	Facebook	2,5%	Facebook	2,4%
8	Facebook	2,0%	MPEG strm.	2,0%	SSL	1,7%
9	Flash Video	1,3%	iTunes	1,7%	MPEG strm.	1,7%
10	BBC iPlayer	1,3%	SSL	1,5%	iTunes	1,5%
Top 10		78,3%		77,8%		77,2%

Europa presenta una mezcla de mercados maduros y emergentes y una diversidad cultural y lingüística que se combinan para crear perfiles de tráfico muy localizados. En consecuencia, las listas totales de "aplicación principal" son reveladoras al mostrar la popularidad de las aplicaciones más usadas, pero no capturan la estructura precisa de ningún país en particular.

Por ejemplo, en el Reino Unido, la aplicación de vídeo BBC's iPlayer representa el 5,6% del tráfico de bajada, pero debido a las restricciones geográficas que limitan su acceso, sólo aparece como el número diez entre las principales aplicaciones europeas en cuanto al volumen total. Por supuesto, si un usuario se encuentra en un país donde no está disponible iPlayer, incluso verlo en el puesto 10 no tiene sentido.

Generalmente, las redes europeas tienen un conjunto constante de servicios y aplicaciones dominantes que representan del 80 al 85% del tráfico, y un conjunto de aplicaciones y sitios web muy locales que conforman el resto.

Los niveles del tráfico por el uso compartido de archivos P2P (P2P Filesharing) y la navegación Web (Web browsing) han cambiado dramáticamente desde 2009, sin que aparezca una tendencia constante. Vemos niveles de uso compartido de archivos P2P (P2P Filesharing) más altos que en muchas otras regiones, al menos debido parcialmente a los desafíos de licencias geográficas que restringen la disponibilidad de servicios de entretenimiento en tiempo real (*Real-Time Entertainment*) legítimos. Tanto BitTorrent como eDonkey están entre las cinco aplicaciones principales durante el pico y, combinados, representan casi el 30% del tráfico durante el período de mayor demanda.

A continuación, la tabla expone el listado de aplicaciones más demandadas a nivel de tráfico, en este caso, por mostrar no sólo información europea, presenta los resultados procedentes de la región de Norteamérica para tráfico BAM (Sandvine, 2012)

**Tabla 9. Clasificación de aplicaciones BAM por demanda de tráfico**  
**Información obtenida de [40]**

Tráfico de subida			Tráfico de bajada		Tráfico agregado	
Ranking	Aplicación	Share	Aplicación	Share	Aplicación	Share
1	HTTP	20,5%	YouTube	27,2%	YouTube	25,0%
2	Facebook	20,5%	HTTP	19,9%	HTTP	20,0%
3	SSL	10,7%	Facebook	8,7%	Facebook	10,0%
4	YouTube	8,1%	MPEG strm.	7,2%	MPEG strm.	6,6%
5	Skype	2,3%	Pandora Radio	5,4%	SSL	5,5%
6	Google Talk	2,1%	SSL	4,8%	Pandora Radio	5,0%
7	Pandora Rad	1,9%	Android Market	3,5%	Android Market	3,2%
8	MPEG strm.	1,9%	Netflix	2,2%	Netflix	2,1%
9	Gmail	1,4%	Flash Video	1,7%	Flash Video	1,6%
10	BitTorrent	1,3%	Ws. Update	1,7%	Ws. Update	1,5%
Top 10		70,6%		82,3%		80,5%

El tráfico móvil en Norteamérica ha alcanzado un punto clave y actualmente está experimentando un crecimiento explosivo, impulsado en gran medida por la penetración

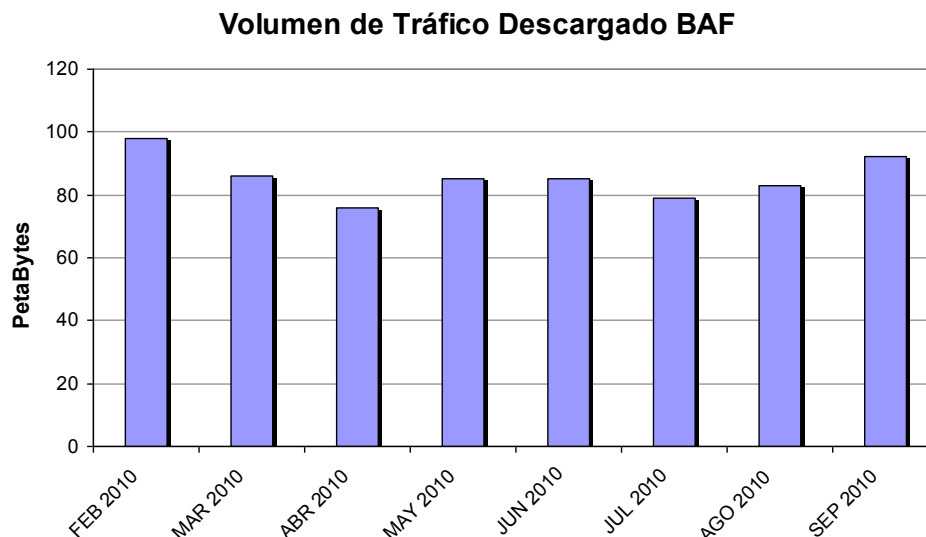
cada vez más grande del smartphone y por la influencia de las funciones de los dispositivos en el uso del abonado.

Con más *smartphones* en uso, en sólo seis meses hemos visto saltar al entretenimiento en tiempo real (Real-Time Entertainment) del 30,8% del tráfico pico (subida y bajada combinados) para representar actualmente la mayoría del tráfico de red móvil del 50,2%. YouTube representa más de la mitad y constituye el 27,2% del tráfico máximo de bajada, pero el crecimiento del entretenimiento en tiempo real (Real-Time Entertainment) no sólo se limita al video. El streaming de audio, particularmente impulsado por la popularidad de Pandora Radio, ha visto un crecimiento importante en los últimos seis meses. Pandora Radio es la quinta aplicación de bajada más grande y representa el 5,4% del tráfico pico, y el streaming a través de los servicios que incluyen Spotify y Rdio y aplicaciones especializadas como TuneIn Radio, también está en aumento.

Aunque Facebook todavía está entre las tres aplicaciones principales en la red móvil, el servicio y la categoría de redes sociales (Social Networking) en su totalidad han visto su participación de tráfico reducirse casi a la mitad. Esta caída no se debe a una disminución de uso, ya que las aplicaciones de las redes sociales están normalmente entre las más usadas en la plataforma de cada smartphone; sino que simplemente el tráfico de las redes sociales está siendo sobrepasado por el entretenimiento en tiempo real (Real-Time Entertainment). El tráfico de vídeo y audio consume muchos más datos que una simple actualización de estado en Facebook, por lo que el rápido crecimiento del entretenimiento en tiempo real ha eclipsado el de otras categorías. Hasta que llegue el momento en el que comencemos a compartir extensivamente videos a través de Facebook y otras plataformas de medios sociales, las redes sociales seguirán disminuyendo en cuanto a la participación relativa

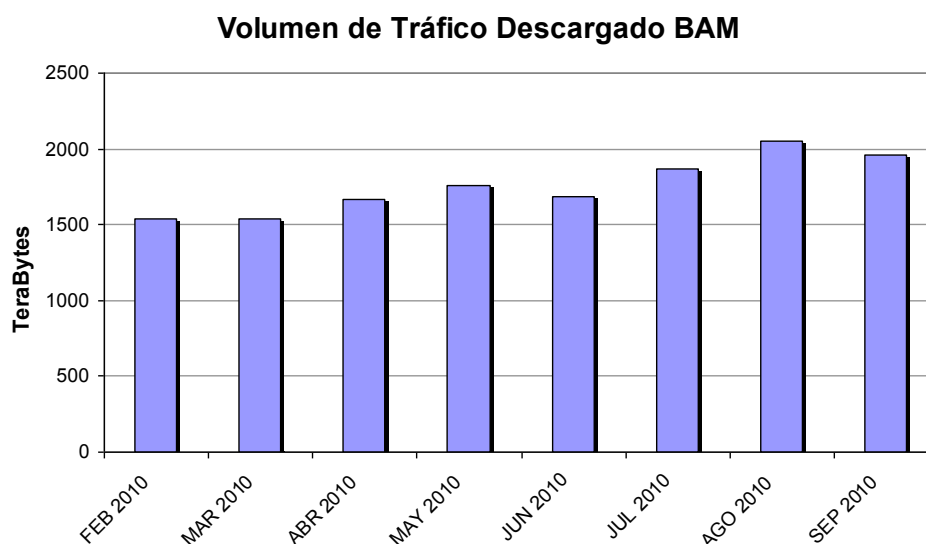
#### **5.4 Evolución de la intensidad y volumen de tráfico**

Vamos a comenzar el análisis de la caracterización del usuario a partir de las figuras 67 y 68, elaboradas con la finalidad de conocer, a modo de ejemplo, cómo evoluciona el volumen de tráfico de una operadora de banda ancha fija y otra de móviles en un período dado, sin ser muy importantes los datos absolutos, dado que desconocemos la cantidad de usuarios. Son datos procedentes de una operadora europea.



**Figura 67. Volumen de tráfico descargado BAF**  
Elaboración propia con datos de Telefónica SA, 2010

El volumen de datos descargados muestra una caída progresiva desde principios de año hasta mayo, donde realiza un importante repunte. Durante el verano, el consumo vuelve a caer mostrando una progresiva recuperación. Esta recuperación, aunque no se ve reflejada en la grafica, continua hasta finales de año, donde se estabiliza.



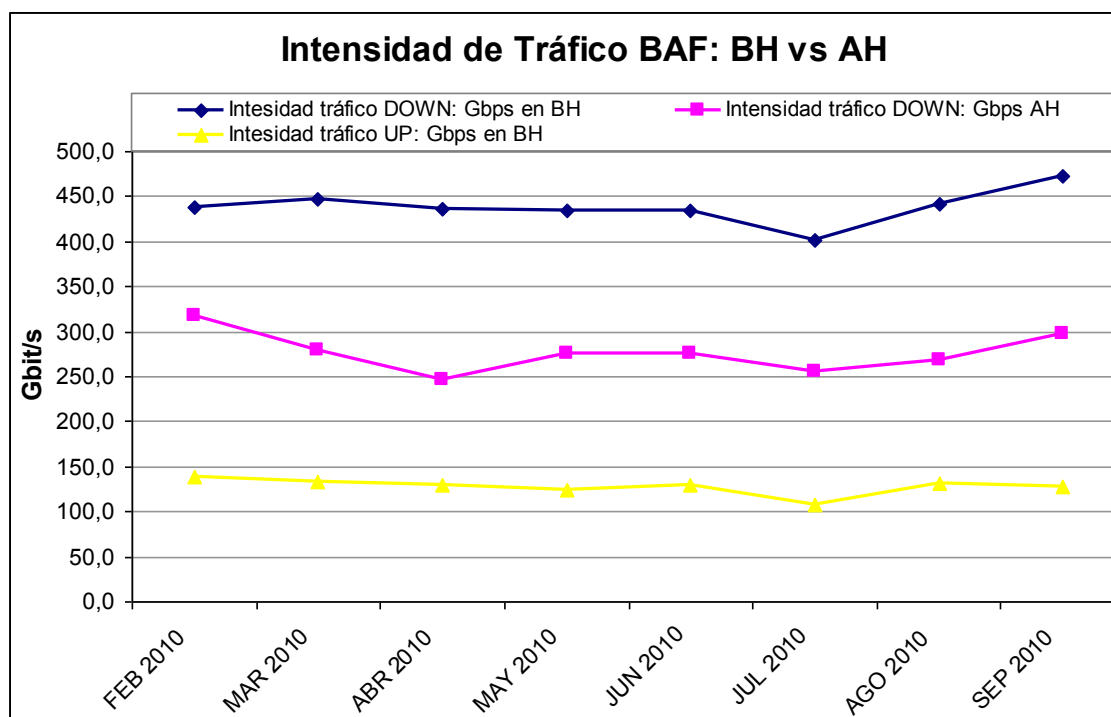
**Figura 68. Volumen de tráfico de descargado BAM**  
Elaboración propia con datos de Telefónica SA, 2010

La gráfica de datos descargados de BAM muestra, tal y como puede ser previsible, una tendencia al alza en el avance del tiempo, donde tras un pequeño retroceso en el mes de junio, el crecimiento en los meses de verano se hace más evidente.

### 5.4.1 Peak Hours vs Average Hours

Otra información fundamental para las operadoras de red es conocer la intensidad media del tráfico que circula en sus dominios, de cara a realizar mejoras o ampliaciones en el dimensionado de una red. Pero no se trata de la única información de intensidad de tráfico que manejan: la intensidad de red en hora cargada (la hora de mayor intensidad de tráfico, también llamada hora pico) es más importante si cabe, debido a que, de no tenerse en cuenta, una operadora podría encontrarse colapsada en periodos de máxima demanda de tráfico.

Como se ha venido haciendo, se muestran a continuación las figuras 69 y 70, a modo de ejemplo de la evolución de la intensidad del tráfico, tanto en hora media (*average hour*) como en hora cargada (*peak hour*), en la red de datos de una operadora de BA fija y otra móvil, ambas europeas.



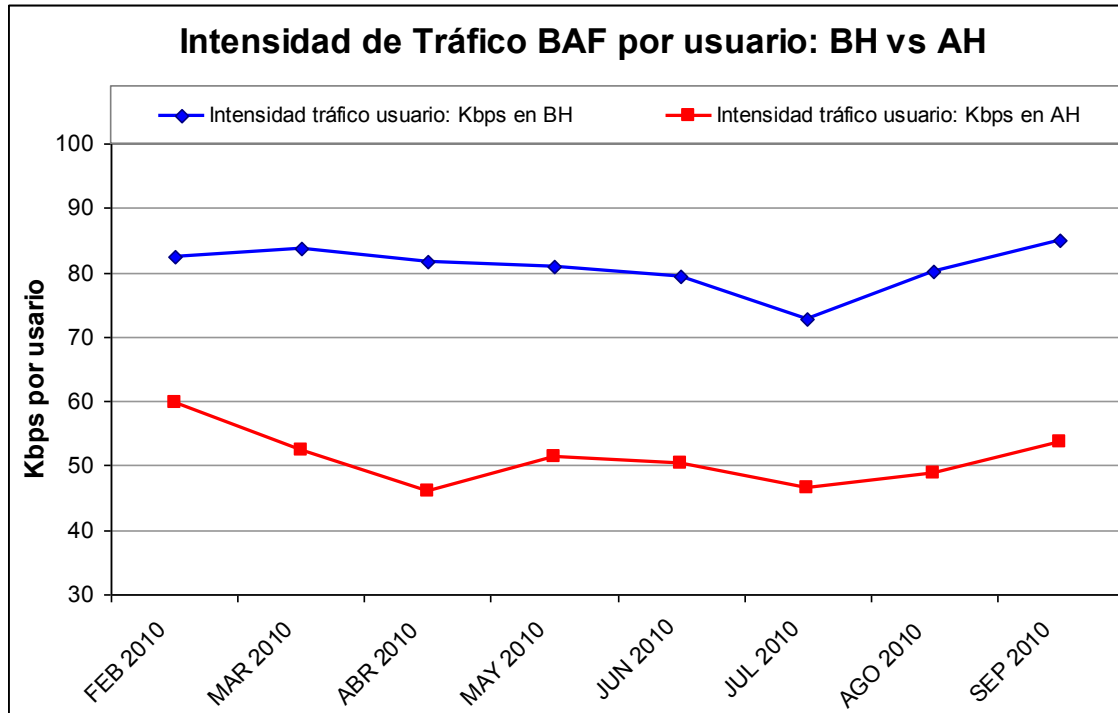
**Figura 69. Intensidad de tráfico BAF: BH vs AH**  
**Elaboración propia con datos de Telefónica SA, 2010**

El crecimiento de la intensidad del tráfico de bajada en el lapso de tiempo de 8 meses que muestra la figura, tanto en PH como en AH, ha sido prácticamente similar, en torno al 20%, lo que ha llevado a que se haya mantenido la diferencia entre las dos intensidades, necesitándose en PH casi un 50% más ancho de banda que en AH. Aunque no sea posible comparar el tráfico de subida en los dos supuestos, sí que se puede concluir que a



diferencia del tráfico de bajada, el tráfico ascendente en BH no sólo no ha aumentado, sino que ha sufrido un pequeño retroceso.

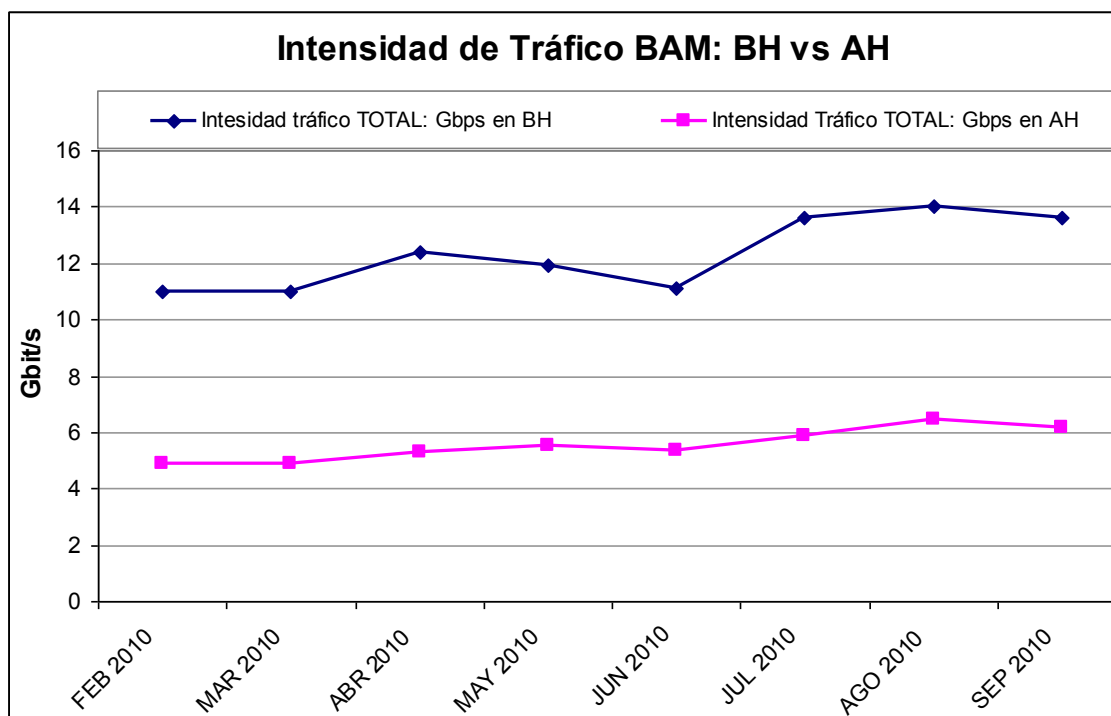
Más información de cara al conocimiento del cliente, es la intensidad de uso que cada uno de ellos hace de su conexión de BA, de modo que entra en juego la variable de usuarios totales con sus posibles variaciones de altas y bajas, obteniendo así la intensidad de tráfico por usuario.



**Figura 70. Intensidad de tráfico BAF por usuario: BH vs AH**  
**Elaboración propia con datos de Telefónica SA, 2010**

No se aprecia un punto máximo con grandes diferencias respecto al transcurso de unos meses y otros, pero sí el pico mínimo. Ambas coinciden en julio como mes de menor tasa por cliente, fácilmente explicable por ser el período de vacaciones estivales más elegido por los españoles, a partir del cual, experimenta una subida constante. Si que llama la atención otro pico en la intensidad de tráfico de bajada en AH por el mes de abril, ya que en este mes, en BH no se nota ninguna alteración, es decir, que a lo largo del día el tráfico se concentra más en la hora cargada que en el resto del año.

Pasemos ahora a analizar la intensidad del tráfico en BAM, como muestra la figura 71

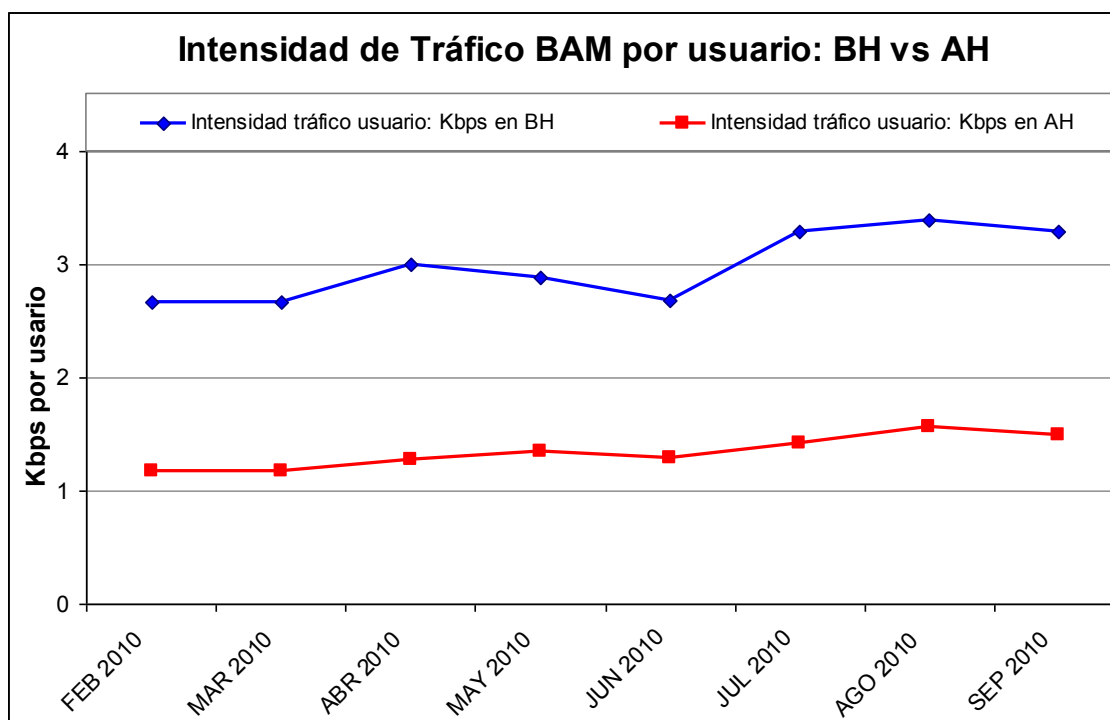


**Figura 71. Intensidad de tráfico BAM: BH vs AH**  
**Elaboración propia con datos de Telefónica SA, 2010**

El tráfico BAM no ha seguido la evolución de la BAF, con un crecimiento mucho mayor, de un 118% para la intensidad de tráfico total AH que circula en la red de nuestra operadora de ejemplo y de un 170% para la intensidad en PH. La distancia entre ambos traficos ha aumentado, así, cuando en mayo de 2008 se necesitaba en PH un 54% más de ancho de banda que en AH, en abril de 2009 se necesitaba ya un 92% más.

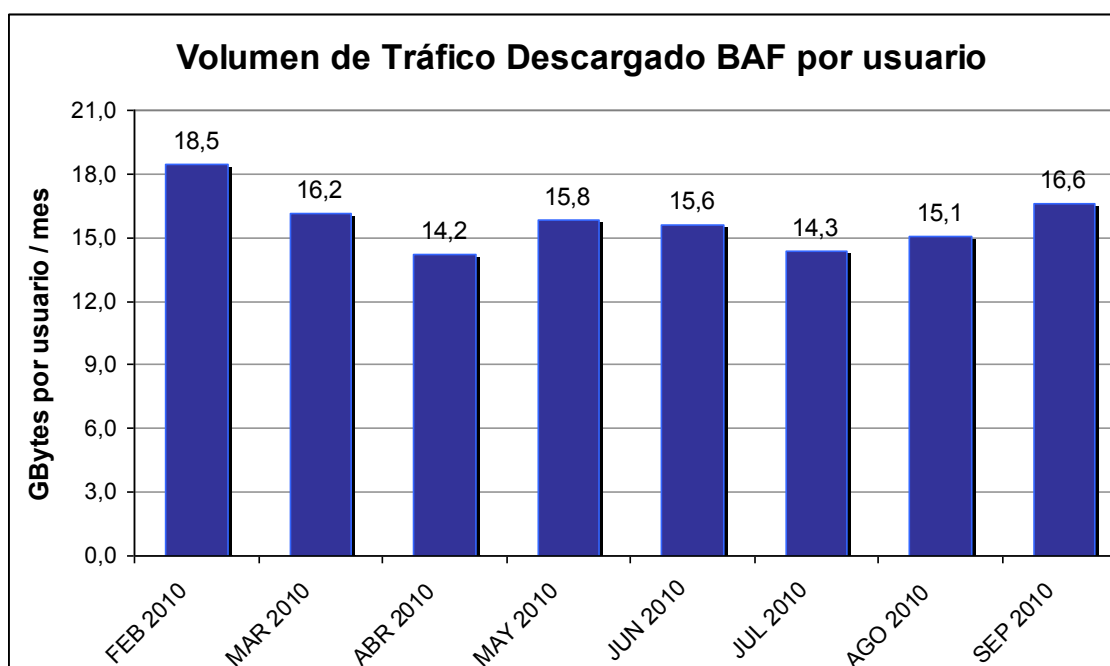
Estos datos ponen de manifiesto que no sólo crece significativamente el tráfico BAM, sino que cada vez más se concentra el uso de la BAM en una franja de tiempo determinada por parte de los usuarios (que, como vimos en el apartado de distribución del tráfico BAM a lo largo del día, se produce en torno a las 23h en nuestra región).

La figura 72 muestra la tasa media por usuario móvil, a fecha de 2010, la cual no era especialmente significativa. Sigue, tanto en BH como en AH, una evolución creciente, con la diferencia que la hora media se aproxima a una evolución casi lineal, frente dos picos, uno de subida y otro de bajada que presenta el tráfico en hora cargada. De nuevo, como ocurría con la BAF, el pico descendente se observa en el período estival, con el matiz de que en esta ocasión se produce en junio y no en julio. El crecimiento que se produce en el tráfico en BH es superior al de AH, por lo que se concluye que cada vez más la tendencia del usuario, al menos durante 2010, produjo una mayor concentración de uso en la BH.

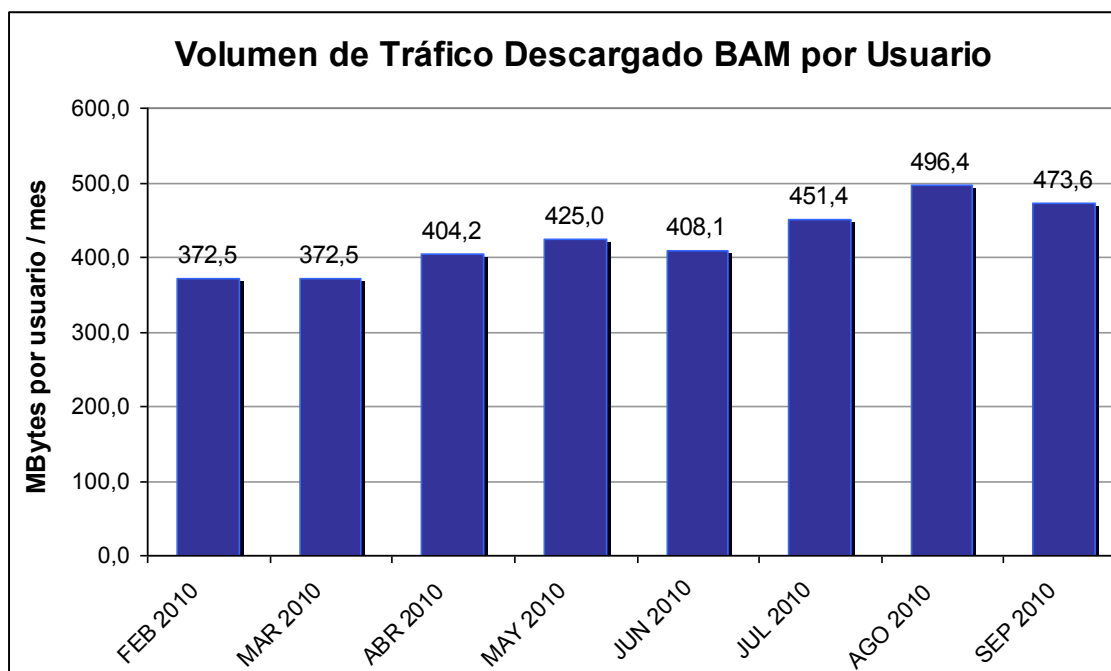


**Figura 72. Intensidad de tráfico BAM por usuario: BH vs AH**  
Elaboración propia con datos de Telefónica SA, 2010

En las figuras 73 y 74 enfrentamos el volumen medio descargado por usuario al mes en BAF y BAM, para poder comparar ambas y ver las diferencias y similitudes que poseen.



**Figura 73. Volumen de tráfico descargado BAF por usuario**  
Elaboración propia con datos de Telefónica SA, 2010



**Figura 74. Volumen de tráfico descargado BAM por usuario**  
**Elaboración propia con datos de Telefónica SA, 2010**

Podemos apreciar la gran diferencia actual del volumen de datos mensual entre los usuarios de banda ancha: entre 32 y 50 veces superior la de los fijos frente a los móviles, y casi 40 veces superior de media.

La tendencia evolutiva refleja un crecimiento intensivo en el BAM, mientras que en la BAF presenta incluso decrecimiento durante el lapso de tiempo de 8 meses en que está basada la figura.

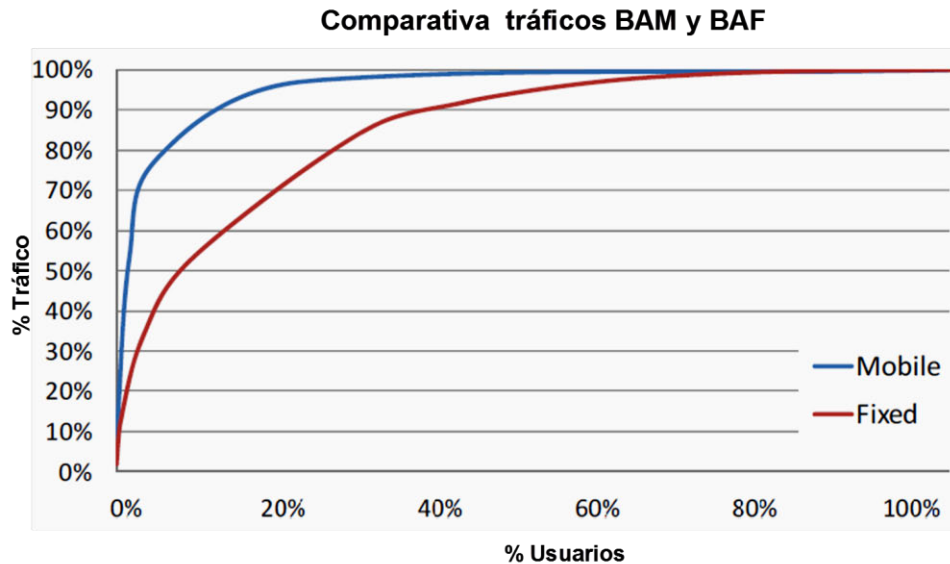
Anteriormente hemos visto que el tráfico de la red fija es de media 50 veces superior al de la red móvil, que dista del dato que acabamos de ver (40 veces superior el tráfico por cliente de la fija frente a la móvil), y esto es debido a la diferencia en el número de clientes de una y otra tecnología, donde el número de los clientes BAF es un 31% superior de media en el período de estudio.

## 5.5 Conclusiones

No cabe duda de que el tráfico de banda ancha está experimentando un crecimiento exponencial, viéndose reflejado en las redes de las operadoras. Y de lo que tampoco nos cabe duda es que se debe, más que al gran aumento de usuarios en los últimos años, al crecimiento de la intensidad de tráfico por cliente.

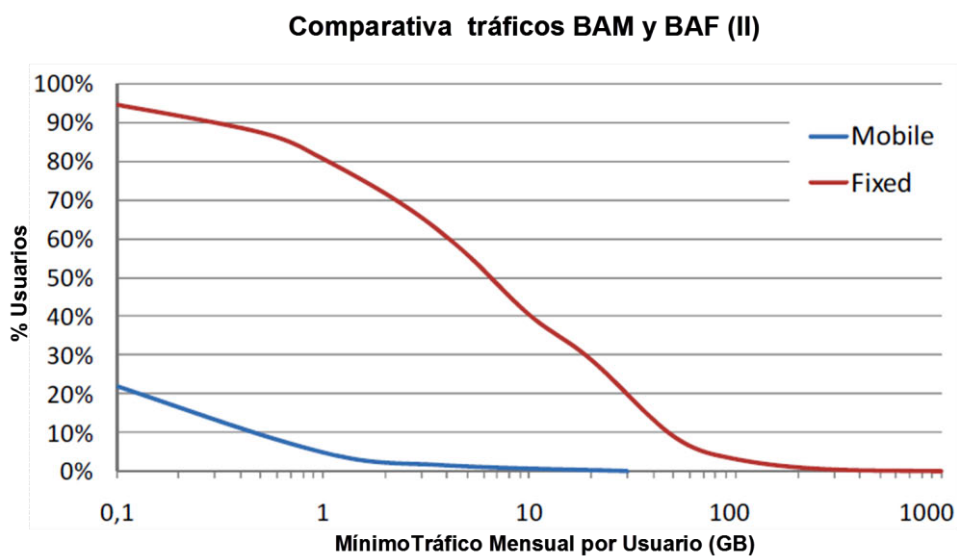
El gran “enemigo” al que se enfrentan las operadoras se puede decir que son los *Heavy Users*, responsables en gran parte de este incremento medio por usuario y de las grandes desigualdades de volúmenes de tráfico entre usuarios.

Obsérvese con detenimiento las figuras 75 y 76, que muestran el reparto del volumen de datos entre los usuarios, dados en dos operadoras europeas y fechadas a finales de 2010.



**Figura 75. Comparativa desigualdad tráfico BAM vs BAF**  
**Elaboración propia con datos de Telefónica SA, 2010**

La desigualdad ya de por si alta en las dos ramas de la banda ancha que hemos estudiado, resulta todavía mayor en la parte móvil



**Figura 76. Comparativa tráfico descargado por % de usuarios BAM vs BAF**  
**Elaboración propia con datos de Telefónica SA, 2010**

Si recordamos el volumen medio por usuario al mes (en BAF siempre por debajo de 18,5 GB/mes y en BAM por debajo de los 500MB/mes), podemos ver que un grupo de usuarios, inferior al 5% descarga más de 100 GB al mes en BAF y en torno al 5% de los usuarios BAM superan el gigabyte mensual. A este último dato hay que unirle el hecho de que únicamente el 20% de los usuarios móviles superan los 100MB al mes.

Las armas que las operadoras han comenzado a usar para limitar a estos poco deseados clientes son los métodos de política de uso justo (fair policies), a través del análisis de paquetes en diferentes puntos de la red para “ver” su contenido mediante el uso de DPI.

El paradigma del usuario de banda ancha es la única forma que permite a las operadoras enfrentarse de una forma escalonada y planificada a los cambios que se producen en la demanda de tráfico y servicios por parte de los mismos. Para ello, como veremos en otra parte del documento, cada operadora emplea diferentes herramientas para conocer, en base a unos criterios, la calidad ofertada en todas las facetas que afectan al usuario final. Internamente a la operadora, son usados los indicadores de rendimiento clave, mucho más común es encontrarlos nombrados por sus siglas en inglés, KPI, *Key Performance Indicator*.

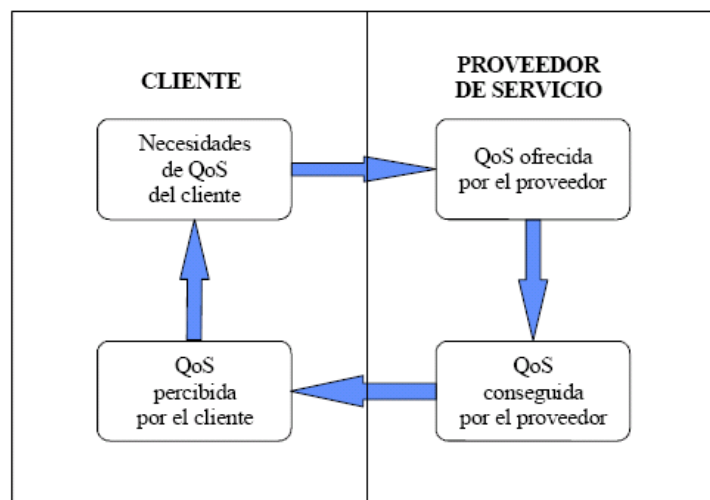
## 6 Calidad de servicio (QoS)

### 6.1 Características de la QoS

#### 6.1.1 Aspectos Generales

La calidad de un servicio de telecomunicación viene definida por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones, o ITU en inglés) como “el efecto global de la calidad de funcionamiento de un servicio que determina el grado de satisfacción de un usuario de dicho servicio” [42].

Normalmente, la medida de la calidad de un servicio se asocia al grado de satisfacción de los clientes, es decir, a la percepción que tienen estos sobre los servicios prestados. Pero en realidad existen cuatro puntos de vista, según la Recomendación UIT -T G.1000 [43]:



**Figura 77. Cuatro puntos de vista de la QoS  
Obtenida de [43]**

Desde la perspectiva del cliente, existen dos puntos de vista:

- Las necesidades del cliente: definen el grado de calidad requerido para un servicio dado. El lenguaje en el que se expresan estos requerimientos es cotidiano, sin tecnicismos, debido a que el cliente queda abstraído de la idiosincrasia del servicio en sí (ni conoce ni le importa la arquitectura de la red o cualquier otro dato técnico que rodee al servicio en cuestión), centrando su interés exclusivamente en la calidad extremo a extremo.

- La calidad percibida por el cliente: se declara el grado de calidad que, bajo el criterio del cliente, ha sido percibido y cuantificado por el grado de satisfacción, y no mediante tecnicismos. La forma habitual de captar esta información es mediante el uso de encuestas a los clientes, obteniendo así su *feedback*.

Desde la perspectiva del proveedor, al igual que ocurre en el lado del cliente, dos son los enfoques de la calidad de servicio:

- La calidad ofrecida por el proveedor: declaración del proveedor donde especifica el grado de calidad que desea suministrar en el servicio dado que proporciona. En este caso, la forma de expresar esta información es, a diferencia de lo que ocurría en el lado del cliente, más cuantificable, mediante el uso de parámetros. Esta forma de “medir” la calidad es especialmente interesante en la planificación de acuerdos de niveles de servicio (SLA, *Service Level Agreement*). Existe un conjunto de parámetros asociados a cada servicio suministrado.
- La calidad entregada por el proveedor del servicio (y recibido por el cliente): es la manifestación del grado de calidad entregado al cliente, cuantificada con parámetros, y de la que cabe esperar su conjunción con estos mismos parámetros en el enfoque dado en la calidad ofrecida, pudiéndose, por tanto, realizar comparativas en el nivel de calidad durante un período concreto (mensual, anual...).

Tal como se menciona anteriormente, la medida de la calidad percibida requiere la elaboración de encuestas. En cambio, la calidad entregada por el proveedor y recibida por el cliente puede ser constatada mediante la instalación de equipos de medida en un número estadísticamente representativo de usuarios.

Medidas objetivas son las de calidad entregada por el proveedor y recibida por el cliente, ya que se pueden obtener a partir de los equipos de medida que se instalan en la red. Por ejemplo, el conjunto de parámetros, medibles, que pretenden determinar de forma objetiva la calidad que se ofrece a los usuarios de un determinado servicio se encuentran recogidos por el ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) en el estándar ETSI EG 202 057, partes 1 a 4.

Dicho estándar establece que la QoS percibida por el usuario se ve afectada por aspectos técnicos y operacionales y recoge por un lado parámetros técnicos que dependen del dimensionado y funcionamiento de las redes (ejemplos: cobertura para diferentes velocidades de acceso, tasa de consumo de tráfico por cliente, averías por cada 100 accesos



de cliente, etc.) y por otro lado considera los parámetros operacionales de calidad de servicio (tiempo medio de resolución de averías, tiempo medio de provisión de servicios, etc.).

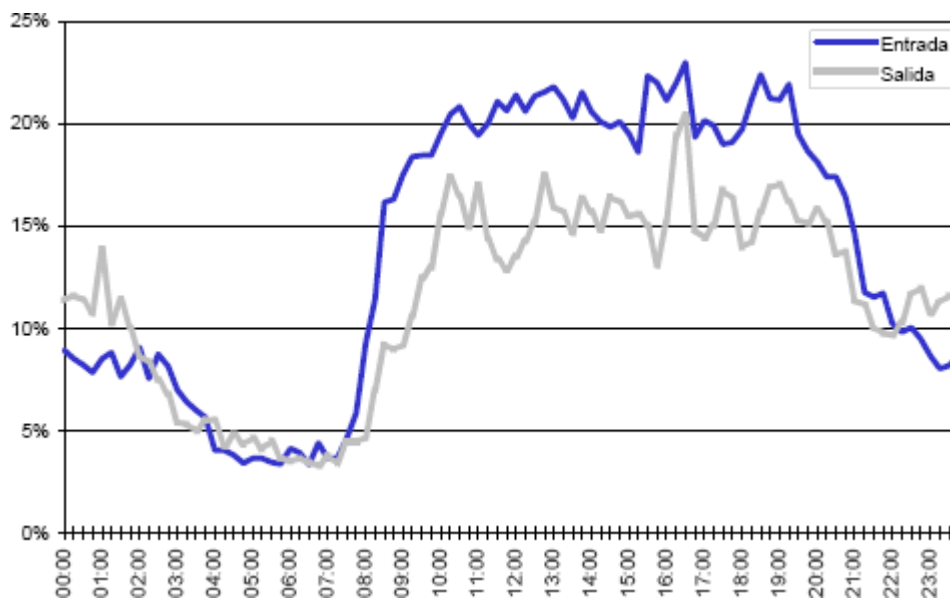
Nuestro objetivo es centrarnos en el enfoque de los aspectos técnicos de QoS que dependen de la planificación y dimensionamiento de la red para la prestación del servicio de acceso a Internet, si bien, en la parte de indicadores de calidad, también se comentan algunos aspectos operacionales interesantes, junto a otros parámetros que resultan tremendamente interesantes para las operadoras.

### **6.1.2 Planificación y dimensionamiento de las redes**

A la hora de dimensionar una red es muy importante que se cuente con una estimación de demanda lo más desagregada posible por servicio, población y año que refleje los patrones de consumo de los clientes, así como las características de los servicios a prestar y sus SLAs (tiempos máximos de establecimiento de sesión, velocidades garantizadas, retardos máximos, etc., es decir, los parámetros de calidad que definen la oferta de cada servicio).

La red resultante debe ser una red de mínimo coste (norma fundamental en la planificación) pero que sea capaz de satisfacer los requisitos establecidos de demanda y calidad.

Como ya comentamos en la parte de caracterización del usuario, dado que los tráficos que generan los usuarios no se reparten por igual a lo largo del día (hay lo que se llama un perfil horario del tráfico). El dimensionado de las redes se debe hacer en la denominada hora cargada, es decir, la hora del día cuando hay más tráfico circulando por las redes, aunque este concepto, en el caso del servicio de acceso a Internet, es redefinido por algunos reguladores, pasando a usar los periodos del día con mayor carga de tráfico (más de una hora), si bien estos son minoría.



**Figura 78. Ejemplo distribución del consumo de tráfico a lo largo del día**  
Elaboración propia

Ello implica que los equipos y los medios de transmisión (enlaces o circuitos) se encuentran con mayor grado de ocupación en la hora cargada que en el resto del tiempo.

Cualquier desviación que ocurra en las previsiones recogidas en la matriz de tráfico podría dar lugar a degradaciones en el servicio ofrecido. Por ello, en las redes se deben emplear mecanismos de control de los recursos. En este sentido, y a modo de ejemplo, las redes de conmutación de circuitos (servicio de voz tradicional), utilizaron desde sus comienzos mecanismos de control de admisión, dado que es mejor que en determinados momentos se haga esperar a algunos usuarios para el establecimiento de su comunicación antes de permitírsele y que se degrade la calidad al conjunto. Del mismo modo, en redes de conmutación de paquetes se puede, por ejemplo, desconectar parte del equipamiento instalado en determinadas partes de la red durante las horas de menor carga de tráfico para llevar a cabo un valioso ahorro energético.

Queda así de manifiesto la vital necesidad de la existencia de los parámetros que sean indicadores del nivel de calidad, tanto ofrecida por las operadoras de red como la recibida por los usuarios, para poder llevar a cabo las labores de planificación de las redes de telecomunicaciones. Estos indicadores reciben el nombre de KPIs, de sus siglas en inglés de *Key Performance Indicator*, es decir, indicadores clave de rendimiento. Los veremos con detalle más adelante en el punto 6.2 del documento, correspondiente a la última sección de esta parte de calidad de servicio.

### **Dimensionamiento de redes IP**

Al igual que ocurre con las redes de conmutación de circuitos, en las redes de paquetes también se utilizan los efectos estadísticos de los tráficos para el dimensionado de las mismas.

Pensemos en un usuario internauta cualquiera, quien puede encontrarse en alguna de estas situaciones en un determinado instante:

- Tiene el router apagado.
- Tiene el router y el PC encendidos, pero sin activar el navegador del PC o cualquier aplicación de intercambio o descarga de ficheros.
- Está navegando por Internet pero está visualizando o manejando información bajada unos momentos antes.
- Está descargando información justo en ese instante.

El resultado es que dentro de la hora cargada, y en el instante más cargado del día, un porcentaje muy pequeño de usuarios se encuentra descargando información. De esto se aprovechan las operadoras a la hora de planificar y dimensionar sus redes (y si no fuera por esto no existiría Internet).

Vamos a un ejemplo, la red de una operadora de ADSL en España. La velocidad media vendida debe estar en torno a los 10 Mbps. En un DSLAM (equipo concentrador de líneas ADSL situado en el edificio de la central telefónica) podemos tener unos 1000 usuarios ADSL de media. Gracias a lo anteriormente indicado, el tráfico existente entre el DSLAM y la red IP no es  $1000 \times 10 \text{ Mbps} = 10 \text{ Gbps}$  (Gigabits/segundo), sino tan sólo algo más de 0,1 Gbps (o sea, la centésima parte más o menos).

Además, a medida que concentramos más usuarios, lo cual se produce a nivel de los centros de acceso de la red IP (donde hay decenas de miles de usuarios en cada uno de ellos, porque concentran a varios DSLAM), ese valor medio por usuario desciende aún más (por puro efecto estadístico).

El parámetro que representa todo esto se denomina “tasa de tráfico por usuario”, se mide en la hora cargada y se expresa en Kbps (Kilobits/segundo), siendo aproximadamente en España en torno a 90 Kbps en 2012. Esto significa que en la hora cargada (entre las 9 y las 10 de la tarde), si en España hubiese unos 6 Millones de usuarios de ADSL, el tráfico máximo que está bajando hacia los usuarios sería de unos 540 Gbps (tráfico que procede de otras redes internacionales, de otras redes nacionales, de proveedores de contenidos conectados a nuestra propia red, y tráfico usuario – usuario).

Por lo tanto, a la hora de dimensionar la red IP debemos considerar el dato de 90 Kbps como tráfico por usuario en España, ya que hay grandes diferencias entre países, y si deseáramos dimensionar una red IP en otro país, el dato a tener en cuenta sería el propio de dicho país.

### ***Parámetros en el dimensionado y perturbaciones***

Para el servicio de acceso a Internet, los parámetros críticos para la planificación y dimensionamiento de la red son los siguientes:

- Velocidades de acceso a ofrecer, tanto de subida (up) como de bajada (down)
- Perfiles horarios de tráfico y tasa de tráfico por cliente en hora cargada.
- Disponibilidad del servicio (% del tiempo)
- Tiempos de respuesta en el establecimiento de las sesiones
- Servicios finales propios (del operador) a ofrecer sobre esos accesos (ejemplo, IPTV, VoIP, *cloud*, etc.) dado que requieren diseños específicos y elementos adicionales a incorporar a las redes.
- Además, las inversiones dependen lógicamente de otros factores tales como:
  - el número de usuarios y su distribución geográfica
  - las densidades de población y tipologías de edificación
  - las características de las infraestructuras de red previamente disponibles (por ejemplo, si se dispone ya de fibra hasta el edificio de central, si existen armarios de distribución de cobre en la red de acceso, si la red de pares de cobre es aérea o subterránea, etc.).

Por otro lado, existe un conjunto de factores, llamados generalmente perturbaciones, que son los principales problemas de tráfico que pueden experimentar las redes IP,

Las perturbaciones más habituales en las redes IP que afectan, en mayor o en menor medida, según el tipo de aplicación, son:

- La pérdida de paquetes debido a congestiones en la red y también en el propio receptor, al cual se le puede llegar a llenar el buffer, lo que obliga a la retransmisión de los paquetes perdidos.
- Retardos excesivos, debido a los tiempos de espera dados en los distintos nodos de red de forma agregada, es decir, es la suma de los tiempos de espera dados en todos los nodos a lo largo del trayecto que el paquete de datos recorre hasta su destino. Al retardo se

le suele denominar “latencia” y se mide en milisegundos. Este parámetro es especialmente importante para las aplicaciones en tiempo real, caso de los juegos en red.

- Variación de retardo. Se trata de uno de los problemas más importantes a los que se enfrentan las aplicaciones de vídeo o audio, donde la llegada secuencial de paquetes a su destino es primordial. Este tipo de variación es conocido como *jitter*, y consiste en la llegada de paquetes con retardos diferentes, lo que produce una entropía nada deseable. También se mide en milisegundos.
- Errores en la transmisión, que provocan la corrupción de los datos, o lo que es lo mismo, los datos obtenidos en destino son distintos de los enviados desde el origen. Se expresa como porcentaje de bits que llegan erróneos al receptor.
- Resincronizaciones del enlace que está establecido entre el módem del cliente y el DSLAM de la central. Este fenómeno provoca que el usuario pierda la comunicación con Internet durante un par de minutos, con los perjuicios que ello puede ocasionar. Se producen cuando el nivel de “ruido” (interferencias y perturbaciones producidas por cualquier fuente de energía electromagnética) existente a lo largo del recorrido del par de cobre (desde la central hasta el domicilio) sobrepasa un determinado umbral, de tal forma que el módem y el DSLAM dejan de “oírse” y por lo tanto deciden de mutuo acuerdo apagarse (resetearse) y volver a iniciar la sesión.

### 6.1.3 QoS en redes de conmutación de paquetes (redes IP)

Como ya sabemos, mientras que en las redes de conmutación de circuitos (típicamente la red telefónica básica) se establece un camino (se reservan recursos) entre origen y destino antes del comienzo de la comunicación y éste se mantiene invariable a lo largo de la misma, en las redes IP no hay un camino preestablecido y la información (sean datos, texto, vídeo, imágenes o voz), se trocea en paquetes de datos de un determinado tamaño que pueden seguir caminos distintos a lo largo de la red. Es decir, un “trozo” de la información puede pasar por una serie de routers y otro trozo por routers diferentes, lo cual implica que pueden experimentar “perturbaciones” (como retardos o pérdida de paquetes debido a congestiones, como hemos visto en el epígrafe anterior) diferentes en su tránsito por la red.

Las redes IP reparten los paquetes de un lado para otro con un tipo de servicio conocido como *best effort*, dado que no se garantiza ni la entrega ni la calidad de la entrega de la información entre origen y destino. Por ejemplo, si llegase a existir congestión en algún

router o circuito de transmisión del trayecto, hay paquetes de datos que, simplemente, se descartan, son eliminados.

En efecto, para estas aplicaciones el hecho de que un trozo de la información, un paquete de datos, se pierda o llegue con mayor retraso del esperado no es ningún problema, pues los protocolos que utilizan las máquinas conectadas a Internet (nuestros PCs o los ordenadores donde residen las páginas Web por ejemplo) se encargan de solicitar a la otra máquina la retransmisión de los paquetes que detectan no haber recibido. Esto es posible porque los paquetes de datos de una sesión se numeran correlativamente y así se detecta si falta alguno (todo este proceso es transparente para el usuario). Como la comunicación en estas aplicaciones no tiene que ser en estricto tiempo real, los distintos paquetes de datos se guardan temporalmente en la memoria del equipo receptor (*buffer*) y cuando ya están ordenados se van presentando en las pantallas. Esto ocurre en milisegundos, por lo que el usuario no lo percibe.

Esto hace que este tipo de redes sea muy eficiente y escalable para transportar datos de aplicaciones tales como el correo electrónico, la navegación Web, la descarga de ficheros,... aplicaciones que hasta no hace mucho eran las típicas de Internet.

Pero más recientemente transitan por Internet otras aplicaciones que son mucho menos tolerables a las perturbaciones, como es el caso de los servicios de voz y vídeo en tiempo real. Estas aplicaciones, en efecto, no toleran bien el que haya trozos (paquetes de datos) de la voz o el vídeo que lleguen a destiempo, desordenados, o no lleguen, pues al ser en tiempo real el usuario percibiría inmediatamente el problema (por ejemplo pixelaciones en el vídeo, ruido en la voz, etc.).

Si queremos transportar estos tráficos muy sensibles a los retardos o a las pérdidas, está claro que lo primero que hay que hacer es que el ancho de banda disponible en los enlaces, así como la capacidad de proceso de los routers, sean suficientemente holgadas como para que no se presenten congestiones en ningún momento, dado que a partir de una determinada carga de proceso, en torno al 80%, los equipos (routers y sistemas de transmisión) ya comienzan a “descartar” paquetes de datos, eliminándolos para poder seguir trabajando.

Pero incluso aunque tengamos una red sobredimensionada (con mayor capacidad a la necesaria), no podemos evitar que haya efectos que perjudiquen y degraden a los tráficos en tiempo real. Por ejemplo un retardo distinto entre origen y destino en función del trayecto

recorrido por cada trozo de información, efecto conocido como *jitter* (ver tema de perturbaciones del epígrafe anterior).

Por ello, para poder ofrecer un adecuado nivel de servicio en una red IP, es preciso el incorporar algunos mecanismos de inteligencia. En este sentido, han sido diseñados los protocolos de QoS (*Quality of Service*), con el fin de dotar a las redes IP de cierto nivel de “predictibilidad” en su comportamiento para el transporte de la información. Se trata de intentar que se comporten, de alguna forma, como las redes de conmutación de circuitos. Concretamente, las redes (los routers que las componen) han ido incorporando técnicas y protocolos tales como “DiffServ” o “MPLS”.

La aportación principal de MPLS pasa por las mejoras que permite alcanzar en la gestión de las rutas que siguen los flujos de tráfico, mientras que la mayor aportación de *DiffServ* viene dada por los mecanismos que introduce para manejar la prioridad de los flujos de tráfico. A continuación se describen ambas soluciones en detalle.

#### ***DiffServ (Differentiated Services)***

Una forma de ofrecer calidad de servicio es mediante la distinción de tráficos de datos, es decir, no todos los paquetes reciben el mismo trato, como ocurre con *best effort*, sino que se pueden clasificar en base a ciertos criterios y así queda establecida una discriminación de los mismos. Basado en esta idea la IETF (Internet Engineering Task Force) [44]. ha trabajado en la definición de arquitecturas, como *IntServ* o *DiffServ*, que permiten realizar distinción de los flujos que atraviesan una red en términos de prestaciones, en base a criterios de garantías (*IntServ*) o expectativas (*DiffServ*) de calidad.

En primer lugar se ideó una arquitectura de servicios integrado, *IntServ (Integrated Services)*, con la filosofía de dotar a cada flujo de datos de la red una prioridad distinta, y por tanto, un tratamiento individualizado. Realmente esta arquitectura se enfrentó a la imposibilidad de gestionar grandes cantidades de flujos de datos, puesto que el resultado era un conjunto demasiado elevado de prioridades (una por flujo) como para resultar una gestión eficiente, con problemas de escalabilidad.

A raíz de este primer desarrollo surgió *DiffServ (Differentiated Services)*, cuya arquitectura se basa en dotación de prioridad a conjuntos de flujos, y no una prioridad distinta por flujo, de forma que el tratamiento dado no es individualizado, sino común a todos los flujos con idéntica prioridad jerarquizada. De este modo se palían los problemas de escalabilidad que presentaba *IntServ*.

Mediante la firma pactada de unas condiciones dada, el proveedor de red se compromete a dar un determinado trato a los paquetes, con vista a ofrecer una calidad de servicio definida. El tratamiento que se haga de cada flujo vendrá determinado por la clasificación del paquete de datos. Para ello existe un campo en la cabecera del paquete: campo DS en datagramas IP con QoS, equivalente al campo TOS (*Type Of Service*), en el caso de IP, o al campo *traffic class*, en IPv6.

Los paquetes entrantes en la red de tránsito son marcados en base a los criterios y acuerdos preestablecidos por contrato, de forma que esta información, indicativa de la calidad de servicio de que son acreedores, condicionará el tratamiento que los nodos de la red haga de cada uno de ellos.

Para poder realizar un tratamiento adecuado, todos los nodos del núcleo de la red disponen de mecanismos de prioridad capaces de discriminar los paquetes en función de sus marcas.

Cada nodo contiene la información necesaria para realizar el tratamiento adecuado a cada paquete de datos, en lo que se denomina PHB (*Per Hop Behaviours*), información que se ajusta a diferentes escalones de prioridad, dividido en dos partes:

- Prioridad de servicio. Establece el orden en el que serán atendidos los paquetes de datos que se encuentran en la cola de un nodo esperando ser transmitidos por un enlace.
- Prioridad de descarte. Dictamina la prioridad que posee un paquete cuando estando en cola de tamaño finito dentro de un nodo dado, se produce un colapso y éste ha de comenzar a descartar paquetes para aliviar esta situación siguiendo la política de prioridad de descarte que tenga establecida.

Cada paquete de datos recibe distintos PHBs en los diferentes nodos de la red durante su trayecto a través de la misma, en base al tratamiento que le corresponda recibir, por lo que resulta necesario definir un conjunto de servicios extremo a extremo como sucesiones de PHBs, o lo que es lo mismo, el tratamiento que recibe cada paquete es suma de los PHBs que reciba hasta su destino. Con esto, de poco serviría si un paquete recibe tratamiento prioritario en la inmensa mayoría de los nodos de su trayecto si en uno de ellos es descartado por baja prioridad en situación de colapso.

Concretamente, la IETF ha definido dos tipos de PHBs distintos:

- EF (*Expedited Forwarding*). Detalla el trato que han de recibir los paquetes de datos de una comunicación en tiempo real en los nodos de una red. Por tanto los datos de



las comunicaciones con dicho servicio, se aseguran llegar a su destino sin retardos extremo a extremo, *jitters*, y con unas pérdidas prácticamente nulas.

Con este servicio, los paquetes de datos que están dentro del contrato son tratados con máxima prioridad, mientras que los que no lo están directamente son descartados, puesto que no tendría sentido, al tratarse de aplicaciones en tiempo real, de tratarlo con un retraso considerable, y por otro lado, se produce un ahorro de re

- AF (*Assured Forwarding*). Esta clase de servicio define cuatro prioridades con las que se tratarán los paquetes de datos, estando asociado cada uno a un ancho de banda y tamaño de cola concretos.

Para cada una de estas cuatro prioridades de servicio, los paquetes pueden presentar tres prioridades de descarte distintas, con el fin de salvaguardar los intereses del tráfico más prioritario en caso de congestión. A diferencia del servicio EF, a los paquetes no conformes con el contrato no son descartados directamente, sino que se les otorga una menor prioridad, lo que conlleva una mayor probabilidad de descarte.

Además, ayuda a minimizar las congestiones a largo plazo mediante la implementación de mecanismos activos de gestión de colas.

Por otro lado DiffServ presenta una serie de carencias que no permiten que aisladamente sea una solución de diferenciación de servicios para redes IP:

- No garantiza el compromiso de parámetros de calidad determinados para los diferentes flujos de datos que maneja.
- Fuera del ámbito del dominio IP del operador no existe control de la comunicación, por tanto, si se desea dar un nivel de calidad de servicio extremo a extremo (de no hacerlo así, carece de sentido hablar de QoS) han de desarrollarse acuerdos de nivel de servicio (SLAs) entre todos los dominios involucrados en la comunicación. Al mismo tiempo, es necesaria la implantación de estándares en la fabricación de equipos, algo nada trivial, para que exista coherencia y “entendimiento entre todos los elementos de red que intervienen en la comunicación, el no que a QoS respecta.

*DiffServ* es una solución adecuada para ofrecer calidad de servicio en el *backbone* de las redes, si bien es necesario combinarlo con herramientas de gestión y/o dimensionado de red para que la solución resultante sea completa.

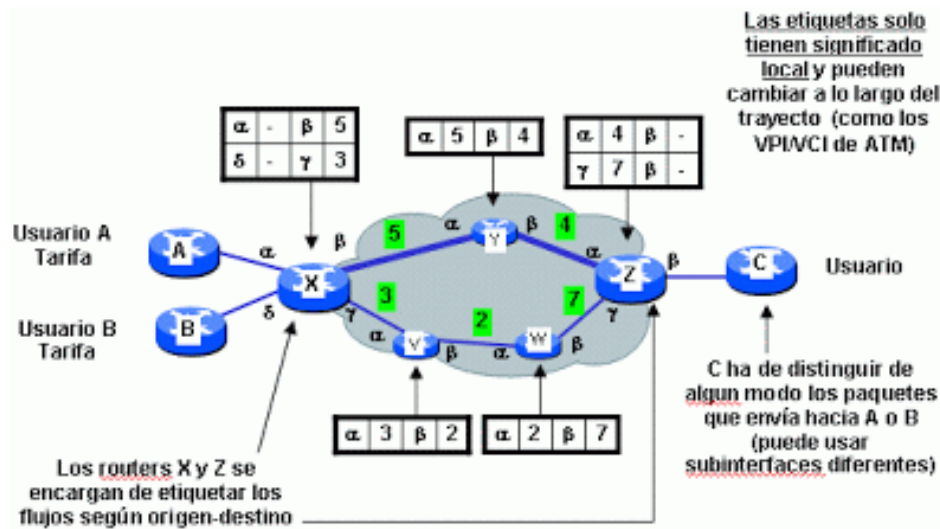
### **MPLS**

El protocolo MPLS (*MultiProtocol Label Switching*, en español conmutación de etiquetas multi protocolo) es un protocolo que consigue dotar de cierta calidad a las redes de datos, mediante la diferenciación de tráfico. Intenta agrupar tanto las capacidades de gestión de tráfico de nivel 2 como las de la flexibilidad y la escalabilidad propias del encaminamiento de nivel 3.

La forma de funcionar de MPLS es mediante la conmutación de los paquetes IP, en base al contenido de un campo de información que agrega entre las cabeceras de nivel 2 y nivel 3. Dicho campo se llama etiqueta MPLS, *label*, y así, las redes de datagramas IP consiguen funcionar como si de una red de conmutación de circuitos virtual se tratase, dotándola de cierta orientación a la conexión. A cada paquete de datos se le suministra un identificador a la entrada de la red, la cual es extraída a su salida. Dicho identificador viene determinado por un número, una etiqueta, por lo que cada router interno sabrá perfectamente el camino que cada paquete seguirá. Este camino es estipulado arbitrariamente, y de forma constante, por lo que precisamente por eso se dice que hace las mismas funciones de un circuito conmutado, porque a diferencia de los datagramas IP, que pueden viajar por la red por infinidad de caminos hasta llegar a su destino, estos sólo pueden circular por una ruta marcada.

El gran objetivo que pretende alcanzar es el de gestionar los recursos de red basada en reserva de capacidades de transmisión extremo a extremo. Esto supone una ventaja añadida, dado que la conmutación basada únicamente en una etiqueta simplifica considerablemente el procesamiento respecto a la conmutación de datagramas IP, evitando de esta forma la ejecución de una serie de procesos, como algoritmos de encaminamiento de nivel de red.

En la figura 45 se muestra un diagrama del funcionamiento de MPLS.



**Figura 79. Ejemplo de MPLS**  
Obtenida de [45]

El empleo de MPLS aporta una serie de ventajas que complementan al protocolo IP:

- Agregación de flujos. Por un lado, posibilita la realización de agregación de flujos. Permite que varios flujos distintos sean transmitidos a través de un camino común (en conmutación de circuitos esto no era posible, dado que un camino era reservado exclusivamente para un solo flujo) identificados por una única etiqueta y siendo tratados, a todos los efectos, como un solo flujo. Esta es una de las mayores ventajas que introduce MPLS en el núcleo de la red y supone un alivio a los problemas de escalabilidad característicos de la tecnología ATM.
- Integración de tráfico. Esta es quizás su gran ventaja desde el punto de vista de la calidad de servicio, ya que mejora con creces la que puede ofrecer una red convencional *best effort*. El encaminamiento de los paquetes de datos en las redes IP, como Internet, se basa en un conjunto de criterios simplistas se realiza atendiendo a una serie de criterios de una complejidad mínima. Las tablas de encaminamiento obtienen la ruta más óptima que ha de seguir un paquete según una determinada métrica y no intervienen en esta decisión factores como la concentración de un enlace, de modo que las posibles rutas alternativas, menos óptimas a priori en base a este criterio, no son usadas, por lo que la utilización de recursos resulta poco uniforme, a la vez que el tráfico tiende a concentrarse en determinados puntos de la red.

Con MPLS este problema se solventa, ya que se realiza ingeniería de tráfico (*traffic engineering*): se realiza reparto de carga del tráfico entre varias rutas posibles hasta su destino.

Además, MPLS permite conocer la sobrecarga de enlaces y balancear el tráfico hacia enlaces con un umbral de carga más bajo, consiguiendo así una distribución de tráfico más uniforme por toda la red.

- Redes privadas virtuales. Se trata de una importantísima característica, de amplio uso empresarial. Su uso para este tipo de servicio (VPN, *Virtual Private Networks*) permite ofrecer conectividad remota a través de Internet aportando exactamente las mismas funcionalidades (seguridad, fiabilidad, capacidad de gestión, etc.) que pueda tener una red privada.

MPLS, sin embargo, presenta ciertos inconvenientes:

- Uno de los hándicaps que presenta para la optimización de la calidad de servicio es que si bien para entornos locales no cabe duda de sus virtudes, no parece que la gestión de una red de alcance mundial, con un desarrollo con alto dinamismo como Internet, sea compatible con sus posibilidades
- Existe una postura que defiende que la calidad de red no depende tanto de la gestión del núcleo de red como de la gestión de la red de acceso, la cual debería ser sobredimensionada (bueno, para los defensores de esta teoría se considera realizar un dimensionamiento adecuado y no un sobredimensionamiento) adecuadamente (existen ya estudios que demuestran que las prestaciones, retardo y *jitter*, que se observan en el *backbone* de EEUU son muy satisfactorias para el tráfico de tiempo real, y que los problemas de la calidad de servicio tienen más relación con la red de acceso y el nivel de servicio que proporcionan los ISPs).

#### 6.1.4 Servicio de acceso a Internet y Servicios Gestionados

Las operadoras de telecomunicaciones proporcionan a los usuarios un servicio de acceso a Internet de BA, que en sí mismo no es más que pura conectividad, una especie de tubería por la cual le llegan y puede acceder a todo tipo de contenidos, servicios y aplicaciones presentes en cualquier punto de Internet.

Desde hace un tiempo se ha puesto de moda la denominación OTT (Over The Top) a las aplicaciones y servicios ofrecidos por empresas tales como Hulu, Netflix, Skype, Amazon, Google, etc., pero en realidad cabría llamar también OTT a los millones de Webs que existen por Internet, pues en definitiva todas ellas consisten en contenidos y servicios que se implementan en una plataforma que se conecta a una o varias de las redes IP de Internet, ofreciéndoselos a los usuarios siguiendo distintos modelos de negocio (financiado por

publicidad, suscripción, por uso, etc.). En España, este tipo de servicios son precisamente este año cuando están emergiendo en el mercado con gran fuerza: GO de Movistar TV, Orange TV o Yomvi de Canal Plus son claros ejemplos de estos servicios.

Desde principios de la pasada década, las operadoras de telecomunicaciones, según iban haciendo crecer sus redes de acceso a Internet, decidieron participar también en el negocio de los contenidos y servicios de valor añadido con el fin de dejar de ser, como ya hemos indicado antes, una mera tubería, es decir, pura conectividad. A estos servicios que pusieron en marcha las operadoras se les denomina “servicios gestionados” dado que, además de mantener disponible la red, gestionan estos servicios y tratan de garantizar una calidad extremo a extremo (*end to end* se suele decir). Esta es entonces la gran diferencia entre un servicio gestionado y un servicio OTT, pues en éste último caso el operador no controla, no gestiona, más que una parte de la comunicación que se establece entre usuario y proveedor, y por lo tanto es imposible garantizar una calidad. Piénsese que la plataforma donde el proveedor OTT almacena sus contenidos y aplicaciones puede estar conectado a cualquier red IP del mundo, lo cual significa que las señales, los paquetes de datos, deben transitar por decenas de routers de distintas redes IP para alcanzar su destino. Para mejorar esta situación aparecieron empresas como Akamai o Limelight que crearon redes que se denominan CDN (*Content Delivery Network*) para que los contenidos de los proveedores de servicio se “acerquen” más a los usuarios finales (es decir, que haya menos routers por medio). El cómo funcionan lo veremos más adelante, en la parte de Servicios y Redes Actuales.

Uno de los servicios más representativos de los servicios gestionados es la IPTV, consistente en la oferta de canales de televisión y contenidos bajo demanda, así como aplicaciones interactivas, teniendo como dispositivo de cliente ya no sólo el PC sino también el televisor, y de forma cada vez más creciente, el terminal móvil: tanto *tablet* como *smartphones*, y por supuesto, incluida queda la plataforma PC.

### 6.1.5 Percepción de QoS del usuario

La prestación por parte de las operadoras de QoS en los servicios ofrecidos a sus usuarios ha de verse reflejada también por la visión que éstos tengan de la misma. Para ello existen también parámetros que ayudan a los usuarios a hacer balance y determinar el nivel de la QoS alcanzada de los servicios contratados, y como veremos, no siempre coinciden los puntos de vista de usuario y operador en cuanto a la calidad alcanzada.

***Velocidad de acceso a Internet percibida por el usuario: test de velocidad***

Se define, la velocidad de acceso a Internet, como la velocidad obtenida en la descarga de ficheros desde un servidor Web remoto al ordenador del usuario, y desde que apareció la banda ancha existe una gran controversia entre usuarios y operadores acerca de la fiabilidad de los valores que anuncian y venden estos últimos.

Para que los usuarios puedan hacer sus mediciones todos las operadoras disponen de “Webs de referencia”, que están situadas en algún punto de su propia red.

Además, existen numerosas Webs donde los usuarios pueden realizar los denominados test de velocidad de sus conexiones, donde pueden medir si la velocidad supuestamente ofrecida por el operador es así percibida por el usuario.

Precisamente, pueden producirse desacuerdos entre usuarios y operadores debido a los test de velocidad, que no siempre cumplen una serie de pautas necesarias para que sus mediciones sean los más reales posibles, produciendo así una imagen irreal de la velocidad de conexión de las que dispone un usuario, y por tanto, produciendo una percepción negativa de la calidad de servicio recibida.

Sin profundizar tampoco demasiado en la teoría de la construcción de los test de velocidad, veremos algunas situaciones que, bajo el punto de vista de las operadoras, pueden acrecentar una medición errónea:

- Tamaño de la ventana inadecuado.
- Configuración incorrecta del SO
- Contenido descargado para la prueba demasiado pequeño
- Situación congestionable entre usuario y servidor

Para comprender bien el porqué pueden generarse errores, vamos a recordar una parte del funcionamiento del protocolo TCP y del UDP.

En Internet se utilizan básicamente dos protocolos para el envío de los datos: UDP, que se utiliza en aplicaciones de videostreaming y otras de tiempo real como la voz fundamentalmente, y TCP (*Transport Control Protocol*), que es el que se usa normalmente en las navegaciones a través de Webs. Es éste último el que utilizan los medidores de velocidad, y de su correcta configuración en los sistemas operativos de los PCs depende significativamente las máximas velocidades alcanzables en las medidas.

Las informaciones y contenidos de las aplicaciones de Internet se trocean en paquetes de datos tipo UDP o paquetes tipo TCP, con sus distintas cabeceras y campos de control y

siguen un tratamiento diferente: con el protocolo TCP todos los paquetes de datos que llegan al receptor deben tener un “ok” por parte de éste, el cual se envía por el receptor hacia el emisor mediante un breve mensaje denominado “ACK” (acknowledgment), de esta forma el emisor sabe que ya han llegado los paquetes a su destino y como han llegado bien no precisa retransmitir ninguno (hasta entonces los guarda temporalmente en una memoria).

Si tras una determinada cantidad de paquetes enviados (su número es lo que constituye el valor de lo que se denomina “ventana”) resulta que no recibe ACK (la llegada de un ACK puede confirmar la recepción de más de un paquete de datos, de hecho es lo normal), vuelve a retransmitir nuevamente los mismos paquetes. Como se puede comprender, es obvio que este tipo de mecanismo no puede ser utilizado en una comunicación en tiempo real, por lo tanto en éstas se utiliza el protocolo UDP (con UDP no hay retransmisiones de paquetes, y es preferible que se pierda algo de información antes que paralizar la comunicación a la espera de retransmitir los datos erróneos o que no han llegado).

El tamaño de dicha ventana, en TCP, para el envío de paquetes de datos entre dos puntos de Internet, se acuerda al inicio de la sesión entre ambos extremos, y va variando durante la parte inicial de la transmisión hasta estabilizarse en un determinado valor, dependiendo del valor de retardo/RTT (*Round Trip delay Time*, es el tiempo que transcurre desde que se envía un paquete hasta que se recibe el “ACK” de que se ha recibido bien) que exista entre los dos extremos de la comunicación (en este caso entre el PC y el servidor Web de medida).

Por tanto, para que una conexión pueda aprovechar el máximo ancho de banda disponible, ambos extremos deben tener una configuración correctamente adaptada a las condiciones de la misma, y en particular, el tamaño de ventana TCP tanto del extremo receptor como del emisor: deben ser suficientes para trabajar con las condiciones de retardo/ RTT y ancho de banda máximo disponible entre los dos extremos, teniendo en cuenta que, cuanto mayor es el RTT, más grande deberá ser el tamaño de la ventana para alcanzar una determinada velocidad de descarga.

Aquí surge uno de los problemas, dado que las ventanas máximas de transmisión de algunos de los servidores de los tests de velocidad son insuficientes para aprovechar la capacidad de un acceso de alta velocidad, por lo que sólo pueden ofrecer medidas por debajo de la capacidad real del acceso.

Además, de acuerdo con el comportamiento normal de TCP, la velocidad de transferencia va creciendo gradualmente hasta estabilizarse alrededor del ancho de banda disponible. De este modo, hay una franja temporal al inicio de cada conexión (*slow start*) en el que el caudal de

datos aún no ha llegado hasta la capacidad máxima disponible del enlace. Es por ello que es muy importante el tamaño del archivo que se descarga en los tests de velocidad, dado que si éste no es lo suficientemente grande, la velocidad medida queda desvirtuada.

Pues esto mismo ocurre en muchos tests de velocidad, donde el contenido que se descarga para la prueba es demasiado pequeño para que TCP pueda alcanzar la velocidad del acceso. Incluso en los casos en los que se emplea una descarga de mayor tamaño, el test promedia la velocidad a lo largo de toda la conexión, incluyendo el tramo inicial, en el que aún no se ha alcanzado la velocidad de la línea. Ambos defectos del test conducen, de nuevo, a que se infraestime el ancho de banda disponible.

Por otra parte, los accesos a algunos servidores de test de velocidad están en una situación muy susceptible de congestión durante bastantes horas del día, de manera que:

- El RTT hacia ellos aumenta de forma muy significativa, lo que, unido a las restricciones en el tamaño de ventana (si se dan también esta situación), conduce a medidas de velocidad aún peores.
- Algunos de ellos, incluso, se convierten en el cuello de botella de la conexión, de manera que provocan que la ventana de congestión se acomode a su ancho de banda, en lugar de adaptarse al del acceso xDSL (es decir, terminará midiendo la velocidad máxima a la que es capaz de enviar información el servidor del test de velocidad y no la que es capaz de recibir el usuario).

Aún en el caso de disponer de un servidor perfectamente configurado y un test bien diseñado, nos encontramos con que sólo los PCs de los clientes con determinadas versiones del sistema operativo tienen una ventana de recepción por defecto suficiente para los RTT típicos de la tecnología concreta usada (xDSL, FTTx o HFC comúnmente). Así, por ejemplo, sólo los usuarios con Windows Vista, Mac OS Leopard y Linux con kernel 2.6 o posterior no necesitarían ningún cambio en sus ordenadores para aprovechar todo el ancho de banda de su acceso con una sola conexión TCP. Los usuarios con Windows XP (el caso más extendido), Windows 2000, y Linux con kernel 2.4, en cambio, necesitarían leves modificaciones en la configuración de TCP/IP de su sistema operativo, mientras que los usuarios con versiones de Windows más antiguas, como Windows 95, 98 o Millenium, no podrán alcanzar nunca estas velocidades. Por tanto, aquellos usuarios con un sistema operativo antiguo o con una configuración inadecuada obtendrán siempre malos resultados en los tests de velocidad.

#### ***Tiempo de establecimiento de una sesión Internet***



Éste es otro de los parámetros que desde el punto de vista del usuario más puede afectar a la percepción de la calidad del servicio.

Antes de poder comenzar a navegar se necesita que el módem/router y el PC intercambien una información con determinados equipos de la red IP con el fin de que ésta los identifique, los autentique, y les proporcione una dirección IP.

Estas tareas de identificación, autenticación y asignación lo hacen por lo tanto unas máquinas de la red IP que hay que dimensionar debidamente para que los usuarios no se desesperen cuando encienden sus routers (sólo como referencia, estos equipos que intervienen son los BRAS, los Radius, y la base de datos LDAP en las redes IP).

Otro equipo muy importante de cara a la percepción de “rapidez” del servicio por parte de los usuarios es el DNS (*Domain Name Server*, recordemos que es el equipo encargado de traducir los textos que introducimos en los navegadores de los sitios que queremos visitar, a la dirección IP que corresponde a dicho sitio. Si estos equipos se encuentran sobrecargados, o la conexión hacia ellos se encuentra congestionada, la sensación de lentitud que percibirá el usuario lo achacará a la velocidad de conexión, y en ningún caso al equipo DNS. Para intentar evitar estos problemas con estos equipos, cada conexión tiene por defecto configurado un DNS secundario (por si el principal traductor de direcciones falla). Además, las operadoras tienen DNSs propios (en su propia red) para que el PC del usuario se encuentre “cerca” de los equipos traductores, y no tengan que hacer uso de equipos instalados a muchos “saltos” de distancia, lo cuál también ralentizaría la sensación de velocidad de la conexión desde el punto de vista del usuario.

## 6.2 Key Performance Indicator (KPI)

Cada operador de banda ancha, fijo o móvil, tiene como objetivo poder ofrecerle a los usuarios el nivel de calidad más óptimo que pueda maximizar su experiencia con los servicios contratados, dentro de un marco no ideal, donde no es posible realizar las inversiones en infraestructuras y equipamiento máximos, sino que ha de existir un equilibrio que permita al operador obtener beneficios económicos, la razón de la existencia de cualquier negocio.

Este punto de equilibrio es lo que pretende alcanzar cada operador, donde si la inversión fuese demasiado elevada, el negocio generaría pérdidas, y donde si la inversión en nuevas infraestructuras y mejoras de servicios fuese escasa, los usuarios contrarían los servicios de BA con la competencia, y por tanto, tampoco existiría negocio.

Para lograr conseguir ofrecer un servicio de calidad, y poder maximizar beneficios, las operadoras se basan en el análisis de una serie de parámetros de vital importancia, llamados indicadores clave de rendimiento, más conocidos como KPIs, de sus siglas en inglés *Key Performance Indicator*, que informan del estado de las redes del operador, y del progreso de los proyectos de evolución de las mismas.

Cada operador sigue sus propias pautas, establece sus KPIs en cada área que desea estudiar, con una definición propia, si bien la similitud entre gran parte de estos indicadores es inevitablemente grande, puesto que al fin y al cabo, el objetivo de cada operador, grosso modo, es compartido.

Los KPIs que vamos a ver a continuación, en mayor o menor medida, y con una definición más o menos coincidente, son usados por operadores en España, Europa, América...lo que nos da una visión global de la universalización de estos parámetros.

En base al área estratégica en la que los KPIs aporten información al operador, se pueden clasificar de muchas formas distintas. Un ejemplo de esta clasificación es la siguiente, la cuál vamos a seguir:

- Eficiencia
- Económica
- No Económica
- Tamaño
- Calidad
- Evolución
- Convergencia fijo y móvil
- Evolución de Red de Acceso
- Otros

A la hora de ver esta clasificación de los indicadores, es necesario tener en cuenta que las operadoras de BA también pueden tener infraestructura de red de telefonía fija y móvil (por ejemplo, el área de convergencia no tendría sentido si el operador ofreciese exclusivamente servicios de BA fija). El sentido didáctico de este documento nos lleva a ofrecer una visión de estos indicadores de una forma ciertamente generalista, de modo que, por supuesto, cada

operador tendrá una clasificación de KPIs más extensa que la expuesta, con proyectos propios y nomenclaturas propias.

Dentro de la gran cantidad de indicadores que atañan a cada operador, nos centraremos, en mayor medida, al hilo de lo visto en la sección anterior, en los indicadores de calidad y en los que tengan una relación directa con los servicios de BA, aunque con la finalidad de profundizar algo más en “lo que le importa conocer al operador”, también veremos un conjunto de los indicadores más representativos.

Antes de comenzar con el detalle de los KPIs, es conveniente tener claros dos términos que veremos sobre todo en la definición de los KPIs de eficiencia económica, que son el CapEx (o CAPEX) y el OpEx (u OPEX). Ambos provienen del inglés. El primero, CapEx, de *Capital Expenditure*, lo que se traduce por la inversión realizada, el capital invertido. El segundo, OpEx, proviene de *Operational Expenditure*, es decir, el gasto que genera el mantenimiento. Viendo un ejemplo, podríamos decir que si nos compramos un coche, el CapEx es lo que pagamos por adquirir el coche (la inversión de capital), y el OpEx sería el gasto que nos genera, es decir, el gasto que realizamos de gasolina, seguro, cambio de ruedas, revisiones, etc.

### 6.2.1 EFICIENCIA

#### *Económica*

#### **OPEX total de la red y por capa**

Ambos KPIs, el total de red y el total de red por capa, son normalmente usados por todo tipo de operadores, es válido para todos.

En caso del OPEX total de la red, dependiendo del operador, requerirá este parámetro de forma anual o mensual, si bien tiene más sentido solicitar la parte del OPEX total de la red presupuestado anualmente, de forma anual, y de forma mensual la partida de gastos mensual.

El mismo KPI dividido por capa tiene la misma recurrencia, salvo que también hay operadores que en vez de solicitar la parte no presupuestada de forma mensual, la convierten en trimestral.

El OPEX total de red tiene por objetivo medir los gastos de la red.

Definición:

- El OPEX está compuesto por:

- OPEX directo (externo): presupuesto de gastos pagados a terceros.
- OPEX interno: gastos internos de la red. Principalmente, los costes de recursos humanos asociados a la red.
- Se requieren ambos datos (OPEX interno y externo), así como el OPEX total.

Si hablamos del OPEX total de la red por capa, evidentemente el objetivo es el mismo, salvo que el desglose de este gasto vendrá dado por cada una de las capas en las que está dividida la red. Las capas de la red son:

- Acceso
- Infraestructura básica
- Transporte
- Control
- Servicio
- OSS (Sistema de soporte a las operaciones)
- Controladores (sólo para operadoras fijas).

### **OPEX por cliente**

Este indicador se centra en los clientes móviles, por tanto sólo es aplicable por las operadoras de servicios móviles. Su recurrencia es de carácter mensual por parte del operador.

El objetivo es medir los gastos en la red en relación a los clientes a los que da servicio.

Definición:

- OPEX total de la red / número de clientes
- OPEX definido anteriormente, en KPI OPEX total de la red
- Cliente definido por la unidad comercial (por ejemplo, todos los clientes de contrato, más los clientes de prepago con actividad en los últimos 90 días). No se tienen en cuenta los clientes de MVNOs.

### **OPEX por acceso**

Es el equivalente al KPI de OPEX por cliente que emplean las operadoras móviles, de modo que no es aplicable por todas las operadoras, y dado que el concepto de acceso sólo se da en las redes fijas, sólo será aplicable para todas las operaciones fijas. Una recurrencia habitual que hacen las operadoras de este indicador es mensual.

El objetivo que persigue este parámetro es medir los gastos en la red (internos y externos) por cada acceso de la misma.

Fórmula:

OPEX por acceso = (OPEX interno total de red / líneas equivalentes instaladas) + (OPEX externo total de red / líneas equivalentes en servicio)

Definición:

- OPEX definido anteriormente
- Definición: Este indicador se representa con la suma de los costes totales externos de red más los costes totales internos de red. Usa el concepto de líneas equivalentes (un canal = una línea equivalente), excepto para los servicios PRI (*Primary Rate Interface*, o acceso primario de RDSI), que poseen un valor de conversión de 1:30, por lo que cada enlace clave (línea/acceso) se multiplica por 30 (extensiones de servicio), originando 30 líneas equivalentes.

Los siguientes KPIs que vamos a ver de eficiencia económica son análogos a los que acabamos de ver, sólo que hacen referencia al CAPEX en lugar de al OPEX, es decir, se mide la inversión en lugar del gasto.

### **CAPEX total de la red y por capa**

El CAPEX total de red es uno de los indicadores que todo operador aplica, dada su importancia. La recurrencia es anual cuando hablamos de CAPEX presupuestado más luego las variaciones trimestrales.

El objetivo es medir la inversión realizada en la red.

Definición: CAPEX es la inversión presupuestada para cada año

El CAPEX total de red por capa es el mismo indicador, donde se divide la inversión por capas, e incluso por tecnologías. Las capas de la red son:

- Acceso (tecnologías: ADSL ATM, xDSL IP, acceso PSTN, FTTH, FTTN, WCDMA, HSPA,...)
- Infraestructura básica
- Transporte
- Control

- Servicio
- OSS (Sistema de soporte a las operaciones)
- Controladores (solo para operadoras fijas)

### **CAPEX por cliente**

Aplicable exclusivamente por las operadoras móviles, cuya recurrencia es mensual.

El objetivo que persigue este indicador es medir el CAPEX de la red con relación al número de clientes a los que da servicio.

Definición:

- CAPEX total de la red / número de clientes
- CAPEX definido anteriormente
- Clientes definidos por la unidad comercial (todos los clientes de contrato más los clientes de prepago con actividad en los últimos 90 días). No se tienen en cuenta a los clientes de MVNOs.

### **CAPEX por acceso**

Es el equivalente al KPI de CAPEX por cliente que emplean las operadoras móviles, de modo que no es aplicable por todas las operadoras, y dado que el concepto de acceso sólo se da en las redes fijas, será aplicable exclusivamente para todas las operaciones fijas. Una recurrencia habitual que hacen las operadoras de este indicador es mensual.

El objetivo es medir la inversión realizada en la red en relación al número de accesos que tiene.

Definición:

- CAPEX total de la red / número de accesos
- CAPEX definido anteriormente (CAPEX total de red)
- Acceso. Usa el concepto de las líneas equivalentes (un canal = una línea equivalente), excepto para los servicios PRI, que poseen un valor de conversión de 1:30, por lo que cada enlace clave (línea / acceso) se multiplica por 30 (extensiones de servicio), originando 30 líneas equivalentes.

## **No económica**

### **Porcentaje de utilización (xDSL, PSTN)**

KPI sólo aplicable para las operadoras fijas, y la recurrencia es mensual por parte del operador.

Este indicador tiene por fin medir el uso de la capacidad instalada.

#### Definición

- Ratio = número de puertos en servicio comercial / Número total de puertos instalados.
- Un puerto es una conexión a una tarjeta para uso exclusivo de un cliente.
- Puerto en servicio comercial quiere decir que el puerto está conectado a una línea en uso por un cliente.

Este indicador se usará para:

- xDSL en DSLAM ATM
- xDSL en DSLAM IP
- RTB

A decir verdad, la aplicación de este indicador para la tecnología PSTN esta en desuso, ya que no es ya nada frecuente que una operadora ofrezca servicios de datos de banda estrecha.

### **Porcentaje de utilización de FTTH**

Sólo será aplicable por las operadoras fijas que ofrezcas servicios de FTTH. La recurrencia de la misma es mensual.

El objetivo de este indicador, por tanto, es medir el uso de la capacidad FTTH instalada.

#### Definición

- Ratio = número de clientes conectados / 64 x número de tarjetas FTTH GPON
- El denominador puede cambiar con el dimensionado (nivel de *splitting*, por ejemplo, 32 en vez de 64)
- La tarjeta FTTH GPON es el OLT GPON

También sería aplicable, a futuro, a la tecnología 10GPON, puesto que lo único que las diferencia es la capacidad de los enlaces, permaneciendo idéntica la arquitectura.

### **Porcentaje de utilización de FTTB y FTTN**

De forma análoga al indicador anterior, sólo será aplicable por las operadoras fijas de BA que ofrezcan servicios de alta capacidad mediante FTTB y FTTN. Su recurrencia será mensual.

El objetivo perseguido es medir el uso de la capacidad FTTB y FTTN instalada.

Definición:

- FTTB= número de clientes conectados con FTTB/ Numero de puertos de las tarjetas xDSL instaladas en el nodo del edificio
- FTTN= número de clientes conectados con FTTN/ Numero de puertos de las tarjetas xDSL instaladas en el nodo

### **Demora en instalación**

Este indicado sólo es aplicado para operaciones fijas. El operador suele hacer uso de este dato de forma mensual.

La finalidad de este parámetro es medir las solicitudes de servicio rechazadas o demoradas debido a falta de disponibilidad técnica.

Definición

- Demora en instalación son los servicios no instalados en el plazo de provisión comprometido (que es distinto por operación y por servicio). Debe ser descompuesto en RTB, Internet de alta velocidad en DSLAM en central, IPTV en DSLAM en central e IPTV e Internet de alta velocidad en FTTx.

### **Carga de tráfico en acceso 2G y 3G (GPRS y CDMA)**

- Sólo aplicable por operadores móviles, con uso mensual por parte del operador.
- La finalidad de este indicador es medir el uso de la capacidad instalada en el acceso móvil.
- 
- Definición
- $\text{Ratio} = \text{Tráfico en Erlangs} / \text{Capacidad instalada en Erlangs}$
- Tráfico en Erlangs es el número de Erlangs de tráfico medidos en la interfaz BTS-BSC, incluyendo el tráfico GPRS. En el caso de CDMA será el tráfico primario
- Capacidad en Erlangs es la capacidad instalada calculada de la forma siguiente:



- Capacidad = número de sectores con una portadora x capacidad de tráfico de una portadora + número de sectores con dos portadoras x capacidad de tráfico de dos portadoras +... + número de sectores con n portadoras x capacidad de tráfico de n portadoras. La distribución de portadoras puede ser medida con menos frecuencia (por ejemplo, trimestralmente o incluso anualmente) si tiene un impacto bajo en los resultados (menos que 0,1)
- La capacidad se calculará para el 2% de Grado de Servicio, mediante las tablas de Erlang B. El tráfico en la Hora Cargada se calcula de la misma forma que para Erlang/TRX. No se debe hacer reducción de capacidad por canales GPRS dedicados. Se asignarán canales de señalización de la siguiente forma: 2 para el primer TRX y 1 para cada número impar de TRX subsiguiente.

### **Carga de tráfico en acceso móvil por portadora, en 2G y 3G**

Este indicador sólo es aplicable para operaciones móviles. Como en la mayoría de los KPIs, posee una recurrencia mensual.

Su objetivo es medir el nivel de tráfico en la hora cargada por cada portadora (TRX)

Definición:

- Ratio: Tráfico cursado por TRX.
- El numerador de “Kbps/TRX” representa la cantidad de tráfico en Erlangs; es la agregación de la hora cargada semanal de todas las celdas de la red. El cálculo se hace cada semana, tomando la media de las tres horas de mayor tráfico de la semana. De esta forma se obtiene un tráfico semanal.
- El denominador representa el número de portadoras (TRXs) en funcionamiento en la red durante la medida del tráfico.

Kbps/TRX en 3G se basaría en el uso básico del mínimo espectro de frecuencias considerando las portadoras radio de voz, vídeo y datos.

### **6.2.2 TAMAÑO**

#### **Cobertura de población 2G y 3G**

Estos dos indicadores serán usados por operadores móviles con tecnología 2G y 3G respectivamente.

La recurrencia que hace el operador podría ser la siguiente: anualmente para redes con más del 90% de cobertura, mensual para el resto.

El objetivo es determinar cuánta de la población residencial estática puede, en teoría, tener acceso a los servicios del operador en cuestión.

Definición:

Utilizando parámetros estándar de planificación de cobertura, la proporción de la población del país en cuestión que es capaz de acceder a los servicios del operador en el exterior del edificio.

### **Cobertura para diferentes velocidades de acceso**

Aplicable por la operadoras fijas que dan servicio de BA. Este cálculo suele ser requerido por el operador de forma anual.

El objetivo que persigue el indicador es medir la velocidad potencial que soportarán los bucles, obteniendo la cobertura que la red de acceso fijo permitirá para cada una de ellas.

Definición:

Evolución del valor absoluto y porcentual de los bucles en servicio capaces de soportar velocidades de 1, 6, 10, 20 y 25 Mbit/s como mínimo, con independencia de que haya o no equipo en la central. Para estas velocidades mencionadas, las tecnologías son xDSL. En el caso de FTTX, las velocidades ofrecidas suelen ser de 50,75 o 100 Mbit/s. Se debe incluir para cada velocidad el porcentaje de población afectada.

### **Tasa de consumo de tráfico por cliente**

Se trata de un parámetro aplicable por las operadoras fijas, donde la recurrencia es mensual.

Es un parámetro muy importante cuando se quieren medir diferentes perfiles de usuarios en base a su consumo, como por ejemplo, los *Heavy Users*. Se puede comprobar así la diferencia entre estos y un usuario medio. También resulta muy útil al analizar la evolución de la velocidad ofrecida a los clientes por parte de una operadora.

El objetivo de este indicador, por tanto, es medir el valor del consumo medio de tráfico por cliente en la red fija.

Definición: Tasa/velocidad media de tráfico en la hora cargada, en Kbit/s por cliente en servicio, medida en la interfaz entre los POPs (centros de acceso IP) de la red IP y el backbone IP excluyendo las posibles señales de difusión (IPTV).

### **Simultaneidad del servicio de contenidos bajo demanda**

Aplicable sólo por las operadoras fijas que ofrecen servicios de IPTV. La recurrencia de este parámetro es normalmente mensual.

La finalidad del mismo es medir el grado de utilización del servicio de contenidos bajo demanda.

Definición: porcentaje de clientes que acceden simultáneamente a los contenidos bajo demanda sobre el número total de clientes de IPTV.

## **6.2.3 CALIDAD**

### **Averías por cada 100 accesos de cliente**

La aplicabilidad de este indicador es para todas las operadoras de telecomunicaciones, no exclusivamente para las de BA.

Su objetivo es medir el número de averías, y generalmente es un indicador de recurrencia mensual (el operador solicita este parámetro mensualmente).

Su definición es: número de averías / número total de accesos de cliente / mes. Sólo deben considerarse los fallos debidos a la red.

Este ratio se calculará para varios servicios por tecnología. Las tecnologías o servicios en las que estos KPI se desglosarán, son:

- RTB
- Internet sobre xDSL desde la central
- IPTV sobre VDSL desde la central
- IPTV sobre FTTx
- IPTV sobre ADSL desde la central
- Internet sólo sobre FTTx
- UMTS
- GSM
- GPRS
- WCDMA
- HSPA

- IPTV
- VoIP

Sólo deben incluirse las averías que afecten al servicio. Es preciso un acuerdo sobre definiciones entre las operadoras porque hay diferentes tipos de averías: cobertura, capacidad, calidad...

### **Porcentaje de Averías Repetidas**

Este indicador puede ser aplicado por cualquier tipo de operador de telecomunicaciones, no sólo para los de BA.

El objetivo que pretende alcanzar es medir el número de averías que, después de haber sido reparadas, vuelven a aparecer. Al estar enlazado con el KPI de número de averías, también tiene una recurrencia mensual (suele ser la misma que se haya establecido para el KPI anterior).

Definición: número de averías repetidas / número total de averías.

Una avería repetida es una avería que se repite en menos de 30 días. Se medirá para diferentes servicios y tecnologías, completamente coincidente con las del KPI anterior (averías por cada 100 accesos)

Como también ocurría con el KPI anterior, sólo deben incluirse las averías que afecten al servicio.

### **Tiempo medio de resolución de averías**

El objetivo que alcanza este indicador no es otro que medir el tiempo de resolución de una avería, con una recurrencia mensual generalmente por parte del operador.

Su aplicabilidad es para todas las operadoras.

Definición: medir el tiempo medio que una avería tarda en ser solucionada, es decir, se obtiene sumando el tiempo total empleado en resolver todas las averías generadas en el mes (la temporalidad la marca la recurrencia que ejerza el operador para este KPI) dividido entre el total de averías en este mismo período.

Se realiza la segmentación de los resultados distinguiendo entre el sector residencial y empresarial, además de desglosarse por servicios y tecnologías. Éstas son las mismas que para los dos KPIs anteriores (RTB, Internet sobre xDSL...), y al igual que ocurría en éstos, sólo han de incluirse las averías que afecten al servicio.

### Tasa de éxito de compleción de llamadas (CCSR)

También conocido como CCSR, de sus siglas en inglés, *Complete Calls Success Rate*. Se trata de un parámetro aplicable sólo a las operadoras móviles de telefonía, ya sea 2G o 3. Si bien el CCSR no es un indicador que se encuentre directamente relacionado con la BA, es un parámetro de calidad que merece la pena destacar para el conocimiento del lector.

El reporte que suele establecer el operador tiene una recurrencia mensual, y su objetivo es evaluar la calidad del servicio extremo a extremo proporcionado a los clientes para su principal servicio: las llamadas de voz.

Se expresa en porcentaje (%). Profundizando en su definición:

$$CCSR = (1 - \% \text{ no establecidas}) * (1 - \% \text{ llamadas interrumpidas}) = 1 - [\% \text{ no establecidas} + \% \text{ llamadas interrumpidas} - (\% \text{ no establecidas} * \% \text{ llamadas interrumpidas})]$$

Ambos componentes son medidas derivadas de la red en canales TCH sobre el período de medición completo (24 horas al día).

Los intentos de llamada pueden fallar de varias formas:

- No hay cobertura
- No establecida (bloqueada)
- No completada (interrumpida)
- No disponible (la red no sabe de la existencia de la llamada)

Definición:

$$CCSR = 1 - (\% \text{ No hay cobertura} + \% \text{ No establecida} + \% \text{ llamada interrumpida} + \% \text{ no disponible})$$

Los datos a recoger provienen tanto de la red como de pruebas específicas. A continuación podemos ver la procedencia de las fuentes de datos para los elementos incluidos en el cálculo de CCSR:

- No hay cobertura – Datos representativos obtenidos a partir de pruebas
- No establecida – Medidas obtenidas de la red
- No Completada – Medidas obtenidas de la red
- Disponibilidad - Medidas obtenidas de la red incluyendo informes sobre las averías más relevantes

La medición “no establecida” se tomará durante la hora cargada. De esta manera, se medirá lo bien que la red rinde ante los parámetros de diseño. El resto de factores (cobertura, llamadas interrumpidas, disponibilidad) se medirán en base a 24 horas.

En cuanto a la disponibilidad, ésta será calculada mensualmente sólo si afecta el resultado general con más de un 0,1% (al ser redondeado). De lo contrario, se hará mediante muestras para demostrar el rendimiento continuo por encima de este umbral. La medición podrá ser derivada de contadores de red y / o análisis de cortes más importantes en el servicio; el umbral es menor del 99,5 % por lo general. Recordamos que estos datos son meramente orientativos, y dependerán en exclusiva del propio operador.

La disponibilidad es lo suficientemente importante como para tener una KPI independiente. Lo veremos a continuación.

### **Disponibilidad acceso móvil**

A colación del KPI anterior, veremos éste, que tienen relación directa, de modo que la disponibilidad como indicador será aplicable por las operadoras de telefonía móvil, de nuevo y evidentemente con la misma recurrencia, que es de un mes.

El objetivo del indicador es medir el porcentaje de tiempo en el cual la red de acceso móvil es accesible para los usuarios.

Definición:

Disponibilidad de la red (%) =  $1 - \frac{\text{tiempo no disponible}}{\text{tiempo total del período}} \times 100$

Para un período mensual:

$1 - \frac{(\text{segundos no disponible} \times 100)}{(\text{BTS Totales} \times 30 \text{ días} \times 17 \text{ horas disponible} \times 60 \text{ segundos} \times 60 \text{ minutos})}$

Teniendo en cuenta una ventana de mantenimiento de 7 horas (no se tiene en cuenta entre las 23:00 y las 7:00)

### **Tasa de éxito de datos móviles**

La tasa de éxito de datos se divide para tres servicios: datos, MMS, SMS. Son tratadas desde una perspectiva centrada en el cliente y cada una se ha convertido en un % general de éxito extremo a extremo de forma similar al % CCSR de voz.

Algunos servicios pueden abarcar redes 2G y 3G, pero se debe adoptar una solución pragmática para obtener una medición significativa.

Nuestro interés se centra sobre todo en el siguiente KPI (datos), que está directamente relacionado con la BA móvil, si bien resulta interesante el conocimiento de los KPIs referentes a los servicios de MMS y SMS, por conocer un poco más sobre las operadoras de telefonía móvil.

Por descontado queda el hecho de que este conjunto de indicadores sólo será usado por las operadoras de telefonía móvil, y la recurrencia que suelen tener para el operador es mensual.

➤ **Tasa de éxito de datos (GPRS, CDMA y HSPA)**

Su objetivo es evaluar, desde una perspectiva centrada en el cliente, la calidad del servicio de transporte básico utilizando la red de datos móvil relevante. Este KPI se subdividirá en tres, dependiendo de la red de datos que se desee analizar: GPRS, CDMA y HSPA. Igualmente, hay operadores que poseen, tecnología Edge, y de igual forma, usarán la tasa de éxito de datos para medir la calidad del servicio.

Este dato suele ser demandado por el operador de forma mensual.

Definición:

KPI	Definición	Método de medición y fuente de datos
<b>1. Disponibilidad de Cobertura de Servicio de datos.</b>	Disponibilidad de cobertura de infraestructura tecnológica requerida para proporcionar el servicio portador de datos.	Basado en estadísticas derivadas de la cobertura.

KPI	Definición	Método de medición y fuente de datos
<b>2.</b> <b>Tasa de éxito de conexión al servicio de datos.</b>	<p>Conexión con éxito a la red de datos estudiada.</p> <p>Notificación de conexión al servicio de datos recibida en el dispositivo móvil.</p> <p>El tamaño de muestra será la capacidad máxima alcanzable con la plataforma existente y una ventana de pruebas 24x7 (24h al día 7 días a la semana).</p>	Basado en mediciones de pruebas diarias, generadas y medidas con el equipo de pruebas adecuado. Los tamaños de muestra se incluirán en un entorno estático con el equipo de medición.
<b>3.</b> <b>Tasa de éxito “contextual” en el servicio de datos.</b>	<p>Conexión con éxito y establecimiento de sesión con una APN corporativa.</p> <p>El tamaño de muestra será la capacidad máxima alcanzable con la plataforma existente y una ventana de pruebas 24x7.</p>	Basado en mediciones de pruebas diarias, generadas y medidas con el equipo de pruebas adecuado. Los tamaños de muestra se incluirán en un entorno estático con el equipo de medición.

El % de éxito extremo a extremo es:

$$1 - (\% \text{ fallo de cobertura} + \% \text{ fallo de conexión} + \% \text{ fallo de sesión})$$

➤ **Tasa de éxito de datos (MMS)**

Su finalidad es evaluar, desde una perspectiva centrada en el cliente, la tasa de éxito extremo a extremo del servicio MMS.

Definición:



KPI	Definición	Método de medición y fuente de datos
<b>MMS entregados con éxito de móvil a móvil</b>	<p>MMS entregados con éxito: desde que se pulsa enviar, hasta la entrega en un dispositivo receptor. El dispositivo estará configurado en modo "on request".</p> <p>(Tiempo total = desde el inicio del envío a la entrega con éxito)</p> <p>Tiempo límite de entrega del mensaje: 2 minutos</p> <p>Tamaño del mensaje: entre 20k y 35k.</p> <p>Las pruebas se realizarán 24x7, la ventana de informes de 6 de la mañana a medianoche, de lunes a domingo.</p>	<p>Basado en mensajes de prueba diarios, generados y medidos con el equipo de pruebas adecuado en un entorno estático.</p> <p>Herramienta especificada</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dispositivo especificado</li> <li>• Tamaño del mensaje especificado</li> <li>• Tiempo límite del mensaje</li> </ul>

➤ **Tasa de éxito de datos (SMS)**

Su meta es evaluar, desde una perspectiva centrada en el cliente, la tasa de éxito extremo a extremo del servicio SMS.

KPI Definición:

KPI	Definición	Método de medición y fuente de datos
<b>Entrega de SMS con éxito móvil a móvil.</b>	<p>SMS entregados con éxito: desde que se pulsa enviar, hasta la entrega en un dispositivo receptor.</p> <p>(Tiempo total = desde el inicio del envío a la entrega con éxito)</p> <p>Tiempo límite de entrega del mensaje: 2 minutos</p> <p>Tamaño del mensaje: 160 caracteres.</p> <p>Las pruebas se realizarán 24x7, la ventana de informes de 6 de la mañana a medianoche, de lunes a domingo.</p>	<p>Basado en mensajes de prueba diarios, generados y medidos con el equipo de pruebas adecuado en un entorno estático. Se incluirán los tamaños de muestra.</p>

El servicio SMS es fiable por naturaleza debido a que usa el canal de señalización. Por lo tanto, es menos susceptible a errores de medición que los servicios de datos y MMS.

#### **Tiempo medio de provisión de servicios**

Este KPI es usado por todo el conjunto de operadores.

El objetivo que persigue es medir el tiempo medio, en días, que tarda en ser aprovisionado un servicio dado, desde su fecha de solicitud hasta su completa operatividad de uso para el cliente. El operador puede establecer una recurrencia de esta información de forma mensual.

Definición:

Valor medio de los períodos de provisión de las peticiones completadas en el lapso de tiempo de referencia.

- El tiempo de cada uno es obtenido como la diferencia de días entre la fecha de entrada con que se registra la solicitud en el sistema y la fecha de compleción de la correspondiente petición de servicio.

Éste es un indicador de percepción de calidad desde el punto de vista del usuario, donde puede comprobar la rapidez con que una operadora dada es capaz de suministrarle un servicio, y si se ajusta este período con el compromiso de tiempo que el operador le ofrecía inicialmente.

### **Duración media ponderada de averías**

Este KPI es aplicable por todas las operadoras, pidiendo ser su recurrencia mensual por el operador. Esta duración media ponderada de averías (*Average Weighted Length of Faults*) se mide en días.

Definición:

Media de la duración ponderada acumulada en las averías resueltas.

- La duración ponderada de una avería resuelta es el tiempo empleado en solucionar/cerrar la avería, además del tiempo empleado en las averías no resueltas (asociado a la misma línea/acceso), incluyendo el tiempo entre ambas. Sólo las averías resueltas tendrán una duración ponderada. Como ejemplo, un usuario notifica al operador la pérdida de recepción tanto de su señal de IPTV como de la conexión a Internet de la que dispone. El operador emplea un tiempo en intentar solucionarla, y una vez que se supone resuelta, el usuario sigue con el mismo problema en la IPTV, aunque la conexión a Internet sí está reestablecida, tras lo cual, el operador invierte más tiempo en solucionarla y finalmente consigue resolver el problema. El tiempo medio ponderado será la suma del tiempo desde que el usuario notificó la avería hasta que finalmente se solventaron todos sus problemas con los servicios, incluyendo el primer intento del operador por solucionarlo donde no restauró ambos servicios, y el tiempo hasta que el usuario notifica nuevamente que el problema persiste, además del tiempo de reparación tras la segunda notificación de dicho cliente.
- Si hay una avería resuelta y otra nueva aparece (sobre el mismo acceso/línea, esto es, una avería repetida) en un período inferior a 5 días (este tiempo depende de cada operador), será considerada como una avería no resuelta (*non solved fault*). Una

vez que este período de 5 días ha transcurrido, la avería se considera solucionada (*solved fault*).

- Tiempo transcurrido entre averías (*Elapsed time between faults*): es el período entre la fecha de cierre de una incidencia considerada como no resuelta y la fecha de aparición de la consiguiente avería sobre la misma línea/acceso. Hay que tener en cuenta que la duración media de una avería resuelta en un mes dado está afectada por todas las averías no resueltas asociadas a la misma línea/acceso, aunque estas averías pudieran pertenecer a un mes previo.

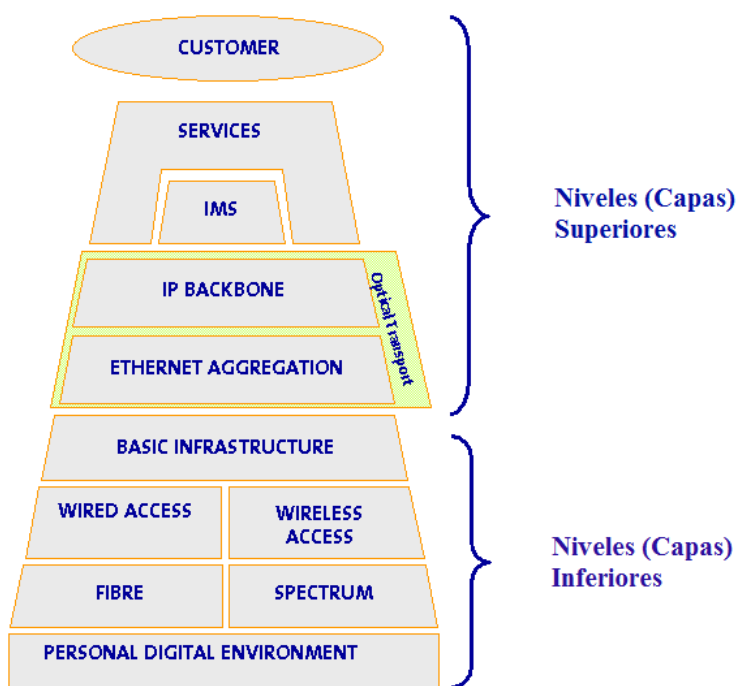
## 6.2.4 EVOLUCIÓN

### *Convergencia*

#### **Compartición en los niveles superiores de la red**

Este KPI queda ubicado en el área de convergencia, dado que mide “algo” que comparten sus servicios fijos con los móviles.

Concretamente, mide la inversión hecha en infraestructura común (de fijo y móvil) en los niveles en los que debería ser integrada por tanto sólo usarán este indicador las operadoras que posean infraestructura fija y móvil.



**Figura 80. Convergencia fijo – móvil**

**Figura propiedad de Telefónica SA, 2009**

De forma distinta a como ocurre con la mayoría de los KPIs, la recurrencia de éste es anual.

Definición:

- CAPEX convergente en capas superiores dividido por el CAPEX total en capas superiores
- Capas superiores están compuestas de:
  - Capa de Servicios
  - Control
  - Backbone IP
  - Agregación
  - Transporte
- CAPEX es la inversión presupuestada para el año
- CAPEX convergente es la inversión en elementos de red a ser usados tanto por fijo como por móvil
- CAPEX total es la suma de los presupuestos fijo y móvil

Es España este ratio se aplicará al backbone IP, IMS, y algunos Servidores de aplicaciones.

Otro KPI muy relacionado con éste es el CAPEX Convergente F-M, igual que el que estamos viendo, pero referido a toda la red. Además, el siguiente KPI guarda a su vez una relación muy directa con dicho indicador, puesto que mide, en vez de la inversión anual (CAPEX), el gasto anual (OPEX).

### **OPEX convergente F-M**

Sólo es aplicable para operaciones con negocios fijo y móvil (los dos a la vez) y su objetivo es medir el gasto en la red debido a infraestructura común, de forma anual, de modo que ésta es la recurrencia que el operador ejerce sobre dicho indicador.

Definición:

- OPEX convergente dividido por OPEX total en red
- OPEX es el gasto presupuestado para el año, incluyendo el OPEX directo y el OPEX debido a los gastos de personal
- OPEX convergente es el gasto en elementos de red a ser usados tanto por fijo como por móvil

- OPEX total es la suma de los OPEX fijo y móvil presupuestados
- El valor inicial es el indicado en el presupuesto anual, y se revisa trimestralmente

### **Cientes convergentes**

Trata de medir el número de clientes que usan servicios comunes, por tanto, sólo se usa este indicador para operaciones con negocios fijo y móvil. Además, su recurrencia es mensual.

#### **Definición**

- Cliente convergente es un cliente aprovisionado en el HSS (Home Subscriber Server, base de datos de la tecnología IMS) convergente.
- HSS convergente es el HSS del IMS común.

### ***Evolución del Acceso***

#### **Cientes en DSLAM ATM y en DSLAM IP**

Dentro del ámbito de la evolución, este indicador se engloba en la evolución de la RTB.

Todas las operadoras de BA fija hacen uso de este indicador (bueno, son dos indicadores, dependiendo de si la tecnología es ATM o IP), claro está, nos referimos a operadoras de tipo ADSL, ya que la tecnología empleada por las operadoras de cable no usan las tecnologías xDSL. En su conjunto estos operadores pueden pedir reporte de este parámetro de forma trimestral, o incluso de forma mensual, si bien en este último caso no es lo más habitual.

El objetivo marcado por este KPI es tener un seguimiento del número de líneas en servicio en los DSLAM ATM

Definición: Número de líneas xDSL en servicio sobre DSLAMs ATM (o IP), con el siguiente desglose de información:

- Número de líneas xDSL en servicio sobre DSLAMs ATM (o IP) para todos los segmentos, desglosadas en minorista y mayorista.
- Porcentaje de líneas ATM (o IP) en servicio sobre el total de banda ancha: xDSL líneas en servicio en DSLAMs ATM (o IP) sobre el número total de líneas xDSL en servicio (en DSLAMs ATM e IP, y también sobre FTTx)

#### **Unidades Inmobiliarias (RSU) Pasadas con FTTX y VDSL2**

Este indicador no tiene una relación directa ni con la calidad del servicio ni con la BA, pero a las operadoras les sirve de orientación para medir la progresión de su evolución desde la red de acceso de cobre más convencional, que les permite ofrecer servicios de BA “básicos” hacia

los servicios de BA más rápidos actualmente ( $> 25$  Mbit/s) de VDSL2 y hacia a la red de fibra óptica que les permite ofrecer, mediante tecnologías xPON, servicios de FTTx.

Es por tanto, un indicador que usan las operadoras de BA fijas tipo xDSL. La recurrencia del KPI es trimestral.

Definición: Cantidad de “unidades inmobiliarias pasadas” con soluciones FTTx y VDSL2 desde la central. El concepto de “unidad inmobiliaria” comprende todos los hogares (ocupados o no), y los locales de negocios, sin tener en cuenta si son clientes actuales o no. Se debe diferenciar entre:

- VDSL2 desde la central (teniendo en cuenta el alcance de VDSL2 para 25 Mbit/s)
- FTTH (RSUs pasadas con soluciones FTTH quedando pendiente sólo la acometida óptica final y la instalación de cliente en la casa. Aunque el dimensionado se hace para un porcentaje de RSUs potenciales a conectar, se debe considerar el 100% de las RSUs, ya que cualquiera de ellas podría demandar el servicio).
- FTTB (Igual que FTTH, pero en este caso la acometida es la acometida de cobre existente).
- FTTN (Igual que FTTH, pero en este caso la acometida es la acometida de cobre existente).
- Debe indicarse también el porcentaje de RSUs sobre el total nacional, considerando la suma de las diferentes soluciones tecnológicas.

### **CAPEX de acceso por RSU pasada**

Al hilo del indicador anterior, se encuentra este KPI, usado también por el mismo conjunto de operadores, y con la finalidad de medir el CAPEX implicado en cada solución de acceso a hogares pasados. La recurrencia que hace el operador también suele ser de carácter trimestral.

Definición: CAPEX clasificado por conceptos: fibra, divisores ópticos (splitters), armarios, conexión eléctrica, obras, equipo concentrador en la central o el nodo necesario para comenzar la comercialización. Diferenciar asimismo entre materiales y mano de obra. Sólo debe incluirse el acceso desde el último splitter (en el caso de FTTH) o el nodo remoto (en caso de FTTB y FTTN) hasta el equipo concentrador en la central (DSLAM u OLT). La información se subdivide en cada una de las diferentes soluciones:

- VDSL2 desde la central

- FTTH
- FTTB
- FTTN

### **CAPEX de acceso para conectar**

Este indicador es aplicado por las operadoras fijas de BA, y su recurrencia es trimestral.

Su objetivo es medir el CAPEX implicado en la conexión de un cliente. Quizás desde el punto de vista del usuario es un gasto que no se tiene en cuenta, por eso hemos considerado interesante el introducirlo en este análisis de indicadores clave para las operadoras.

Definición: Inversión requerida para conectar a un cliente a una red previamente instalada. Incluye el equipo en la pasarela del cliente (ONU en el caso de FTTH, módem-router en el caso de VDSL2), así como el proceso de instalación/condicionamiento de la red. Debe ser clasificado por conceptos (conexiones en el repartidor, acometidas de fibra, equipo del cliente, central, o equipo del nodo, y habrá que diferenciar entre materiales y mano de obra. La información se subdivide en cada una de las diferentes soluciones:

- VDSL2 desde la central
- FTTH
- FTTB
- FTTN

### **OPEX por cliente conectado a BA alta velocidad**

KPI usado para todas las operaciones fijas, con recurrencia trimestral.

Otro factor a tener en cuenta por las operadoras es el gasto que le produce el mantenimiento del servicio sobre cada cliente, el cual varía dependiendo de la solución tecnológica que se use, de modo que el gasto generado por un servicio de ADSL es distinto al generado, por ejemplo, por un servicio FTTH.

Definición: OPEX por cliente conectado y por mes para las diferentes soluciones técnicas, así como para el ADSL actual desde la central (para comparar). Sólo debe incluir el acceso desde el equipo concentrador en la central (DSLAM, OLT) hasta la pasarela del cliente (módem-router u ONU). En el caso de la tecnología ADSL o VDSL2, no se incluye el OPEX relacionado con el repartidor y el bucle de cobre (asignado como OPEX en el servicio



telefónico básico), excepto en caso de que el OPEX sea directamente asignado al servicio de banda ancha.

- ADSL desde la central
- VDSL2 desde la central
- FTTH
- FTTB
- FTTN

#### **Tasa de averías para accesos de alta velocidad**

Aplicable por las operadoras de BA fija que ofrecen tanto servicios de ADSL como los de VDSL2 y FTTx. La recurrencia del mismo es trimestral.

Este KPI se puede decir que tiene marcados dos objetivos: por un lado pretende medir el número de averías generadas por las nuevas soluciones de acceso, y por otro lado, intenta establecer una medida, en comparación con el ADSL actual, de la calidad de las nuevas soluciones de acceso. Así, el operador podrá conocer no sólo las averías que se generan con las nuevas soluciones, sino la diferencia entre las generan éstas respecto de las antiguas.

Definición: boletines de avería por mes y por cada 100 líneas en servicio sobre las nuevas soluciones de acceso (VDSL2 desde la central y FTTx). Suele presentarse la causa diferenciada entre “causa cliente” y “causa red”. Incluye también, para comparar, la información del servicio actual de ADSL desde la central. Los datos han de dividirse también, para cada solución, entre sólo Internet o servicio IPTV.

- ADSL desde la central
- VDSL2 desde la central
- FTTH
- FTTB
- FTTN

#### **Otros**

#### **Clientes IPTV**

Uno de los servicios que más repercusión tiene en las operadoras fijas de BA es la IPTV, que es habitual encontrarlo “empaquetado” (bundled) como conjunto de servicios (el bundled suele incluir también la contratación de la línea telefónica).

Este parámetro es aplicable, por tanto, por todas las operadoras fijas que ofrezcan servicios de IPTV y contenidos bajo demanda. Además, la demanda del operador de este dato suele ser mensual.

Este KPI tiene por objetivo conseguir el seguimiento de la evolución de los clientes IPTV.

Por definición, se trata del número de clientes IPTV en servicio, diferenciando entre " sólo TV " e "Internet + TV" (cabría también un tercer grupo, formado por los usuarios que tienen contratados los tres servicios antes mencionados, "Internet + TV+ Telefonía Fija").

### **Hogares con VoIP habilitado**

Otra de las tecnologías emergentes en el mercado de las telecomunicaciones, que requiere atención del operador es la voz sobre IP (VoIP).

Este indicador, aplicable por las operadoras fijas que ofrecen servicios de VoIP, y de recurrencia mensual, tiene por objetivo el seguimiento de la evolución de hogares con dispositivos preparados para soportar VoIP.

Definición: valor absoluto y relativo (sobre el número total de hogares con servicio de banda ancha) que ya disponen de algún dispositivo que soporta VoIP sin la necesidad de equipos adicionales (teléfonos duales, módem-routers con IAD integrado, etc.), diferenciando cada tipo.

## 7 Conclusiones globales

### Planteamiento del PFC y objetivos alcanzados

Los objetivos que se marcaron a la hora de plantear este PFC intentaban dar respuesta a una serie de inquietudes:

- La realización de un trabajo que tratara de aprovechar tanto conocimiento como experiencia de una de las operadoras de servicios triple play más importante de España, extendida no sólo por Europa, sino por el resto del mundo: Telefónica. La finalidad de este objetivo era dotar al trabajo de una temática novedosa y singular en lo que a proyectos fin de carrera se refiere.
- La posibilidad de poder concluir mis estudios con un trabajo surtido de aporte extra universitario, propio del mundo laboral, que pudiera dar continuidad a los conocimientos adquiridos durante la carrera.
- La búsqueda de una temática ligada a la especialidad cursada como ingeniero técnico de telecomunicaciones: la telemática.

Con estas premisas, surgieron las ideas que se plasmaron como objetivos del PFC y que se han alcanzado:

- La idea de narrar el despliegue de la banda ancha en España desde sus orígenes hasta la actualidad, enfocando su crecimiento desde un punto de vista socio-tecnológico.
- Dando continuidad al punto anterior, se persiguió la idea de conocer las herramientas sociales y tecnológicas a raíz de las cuales se pueda realizar una previsión del tráfico en las redes de las operadoras en un futuro cercano.
- La pretensión de mostrar las características de los usuarios de banda ancha y del tráfico de datos que generan, que son de carácter crítico para las operadoras en la elaboración de forma adecuada la planificación de sus redes.
- La intención de revelar los procedimientos de las operadoras para que, una vez conocidas las características de sus usuarios, se puedan cumplir los requisitos demandados por los mismos: QoS y los indicadores clave de rendimiento (KPIs)

Por otro lado, el nivel de detalle dado pretende adecuarse a un público que no tenga profundos conocimientos sobre la materia, y salvo partes bastante concretas, se puede catalogar este trabajo como de abierto al público en general.

### Conclusiones destacables

Analizando la previsión de las velocidades demandadas por los usuarios de banda ancha, y estudiando los factores que producirán dicha demanda, se van a dar una serie de hechos:

- La tecnología de cobre, que a lo largo de tanto tiempo ha servido a la sociedad, tiende a desaparecer, siendo sustituida por la fibra óptica. Esta transición no parece que se vaya a dar rápidamente, si tenemos en cuentas los factores económicos que impactan en la sociedad actualmente, y el enorme despliegue existente del cobre en nuestro país.
- El factor más importante en el crecimiento de la cuantía del tráfico es el vídeo, en todas sus modalidades. Esto produce una continua adaptación de las operadoras, mejorando sus redes para poder garantizar la calidad necesaria para este tipo de contenidos basados en tiempo real, lo que abre nuevas oportunidades de negocio. Es el caso de los servicios de CDN y OTT, ligados para ofrecer los nuevos servicios de contenidos de vídeo que las operadoras están comenzando a lanzar este mismo año.
- La banda ancha móvil tiene aún mucho margen de mejora en cuanto a su crecimiento, y con las nuevas tecnologías dadas en el sector (4G) está llamada a promover la aparición de nuevos servicios.
- Realmente resulta sorprendente la cantidad de características del usuario que los operadores poseen, y de esto se desprende la existencia de un conjunto de usuarios que ninguna operadora desea tener como usuario: los *heavy users*, que ponen de manifiesto la desigualdad existente entre todos los usuarios. Esto a su vez genera una serie de debates de gran interés y controversia entre operadoras y usuarios, como son la neutralidad de red, el empleo de políticas de uso justo o la idoneidad del uso de modelos de tarificación escalonados frente a los de tarifas planas.

### Futuras líneas de trabajo

Este trabajo no es autocontenido, y al no profundizar plenamente en la problemática de cada uno de los temas que toca, da lugar a la continuidad desde muchos temas y desde diferentes perspectivas:

- Visión tecno-económica de la implantación de las nuevas redes/tecnologías que se dan a conocer en el PFC: tecnologías X-PON (FTTx) de la red de acceso fija, los femto-nodos y picoceldas en la red del hogar, la tecnología 4G en la red de acceso móvil...
- Profundización en las tecnologías a nivel de protocolos: DSM (*Vectored*), GigaDSL, Cu\_PON o ADSL Bonding son ejemplos tan sólo de tecnologías que mejoran el ancho de banda del cobre, dentro de las muchas tecnologías que se comentan a lo largo del trabajo.
- Investigación de toda la temática que rodea a la neutralidad de red y políticas de uso justo que concierne tanto a operadoras como usuarios.
- Desarrollo con mayor profundidad de servicios que han aparecido en los últimos tiempos tales como las CDN, *Cloud Computing*, OTT, etc.



## 8 Referencias Bibliográficas

### 8.1 Referencias

- [1] Alonso Hernán, A., González Molina, A. y Merayo Fernández, L. *10 años de ADSL en España*. Artículos de la Sociedad de la Información. 2010. Consultado el 20 de Enero de 2012. [disponible on-line: [http://sociedadinformacion.fundacion.telefonica.com/seccion=1188&idioma=es\\_ES&id=2010100612220001&activo=4.do](http://sociedadinformacion.fundacion.telefonica.com/seccion=1188&idioma=es_ES&id=2010100612220001&activo=4.do)]
  
- [2] [2] García Correa, F.J. *La próxima generación de redes, NGN, un trayecto hacia la convergencia*. Artículos de la Sociedad de la Información. 2006. Consultado el 20 de enero de 2012. [disponible on-line: <http://sociedadinformacion.fundacion.telefonica.com/url-direct/pdf-generator?tipoContenido=articulo&idContenido=2009100116300121>]
  
- [3] Ministerio de Ciencia y Tecnología. *Real Decreto 3456/2000, de 22 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece las condiciones para el acceso al bucle de abonado de la red pública telefónica fija de los operadores dominantes*. Publicado en BOE núm. 307 de 23 de diciembre de 2000. Consultado el 20 de enero de 2012. [disponible on-line: [http://noticias.juridicas.com/base\\_datos/Admin/rd3456-2000.html](http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/rd3456-2000.html)]
  
- [4] Parlamento Europeo. *Conclusiones de la presidencia*. Consejo europeo de Lisboa. 23 y 24 de Marzo de 2000. Consultado el 20 de enero de 2012. [disponible on-line: [http://www.europarl.europa.eu/summits/lis1\\_es.htm](http://www.europarl.europa.eu/summits/lis1_es.htm)]
  
- [5] AENOR. *Tecnología para competir*. 2011. Consultado el 1 de febrero de 2012. [disponible on-line: [http://www.aenor.es/DescargasWeb/aenor/tecnologia\\_para\\_competir.pdf](http://www.aenor.es/DescargasWeb/aenor/tecnologia_para_competir.pdf)]
  
- [6] CMT. *Informe Anual*. 2003. Consultado el 2 de febrero de 2012. [disponible on-line: <http://informecmt.cmt.es/docs/2003/INFORME%20ANUAL%20CMT%202003.pdf>]

- [7] CMT. *Informe Anual*. 2004. Consultado el 2 de febrero de 2012. [disponible on-line: <http://informecmt.cmt.es/docs/2004/INFORME%20ANUAL%20CMT%202004.pdf>]
- [8] CMT. *Informe Anual*. 2009. Consultado el 2 de febrero de 2012. [disponible on-line: <http://informecmt.cmt.es/docs/2009/INFORME%20ANUAL%20CMT%202009.pdf>]
- [9] CMT. *Informe Anual*. 2010. Consultado el 2 de febrero de 2012. [disponible on-line: <http://informecmt.cmt.es/docs/2010/INFORME%20ANUAL%20CMT%202010.pdf>]
- [10] Heise Zeitschriften Verlag GmbH & Co. *C't Magazin*. 24/2009. Consultado el 2 de febrero de 2012. [disponible on-line: <http://www.heise.de/ct/artikel/Der-stille-Machtkampf-973310.html>]
- [11] NetMediaEurope. *SiloconNews*. 2010. Consultado en 2 ed febrero de 2012. [disponible on-line: <http://www.siliconnews.es/2010/10/08/la-conexion-en-espana-es-tres-veces-mas-lenta-que-en-otros-paises/>]
- [12] El Mundo. Publicado el 13 de octubre de 2010. Consultado el 2 de febrero de 2012. [disponible on-line: <http://www.elmundo.es/elmundo/2010/10/13/navegante/1286983203.html>]
- [13] Sustasa, J. *Situación actual y evolución futura de los operadores de cable*. Revistas ICE. 2006. Consultado el 2 de febrero de 2012. [disponible on-line: [http://www.revistasice.com/CachePDF/ICE\\_832\\_105-114\\_60AEBF0A22A680160BE20665A7B63640.pdf](http://www.revistasice.com/CachePDF/ICE_832_105-114_60AEBF0A22A680160BE20665A7B63640.pdf)]
- [14] Donis Fuentes, M. Tecnología ADSL 2+. Entrada en blogspotg el 18 de mayo de 2007. Consultado en febrero 2012. [disponible on-line: <http://donismartin.blogspot.com.es/2007/05/tesis-capitulo-4-adsl.html>]
- [15] CMT. *Informe Anual*. 2007. Consultado el 2 de febrero de 2012. [disponible on-line: <http://informecmt.cmt.es/docs/2007/INFORME%20ANUAL%20CMT%202007.pdf>]



- [16] CMT. *Informe Anual*. 2008. Consultado el 2 de febrero de 2012. [disponible on-line: <http://informecmt.cmt.es/docs/2008/INFORME%20ANUAL%20CMT%202008.pdf>]
- [17] CISCO. *The zettabyte era*. 2012. Consultado en Enero de 2013. [Disponible on-line: [http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/VNI\\_Hyperconnectivity\\_WP.pdf](http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/VNI_Hyperconnectivity_WP.pdf)]
- [18] CISCO. *Cisco visual networking index: forecast and methodology, 2010-2015*. 2011. Consultado en enero de 2013. [disponible on-line: [http://www.df.cl/prontus\\_df/site/artic/20110602/asocfile/20110602113637/white\\_paper\\_c11\\_481360\\_1.pdf](http://www.df.cl/prontus_df/site/artic/20110602/asocfile/20110602113637/white_paper_c11_481360_1.pdf)]
- [19] CISCO. *Hyperconnectivity and the Approaching Zettabyte Era*. 2010. Consultado en enero de 2013. [disponible on-line: [http://keithlyons.me/wp-content/uploads/2010/12/vni\\_hyperconnectivity\\_wp.pdf](http://keithlyons.me/wp-content/uploads/2010/12/vni_hyperconnectivity_wp.pdf)]
- [20] CISCO. *Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2010-2015*. 2011. Consultado en enero de 2013. [disponible on-line: [http://newsroom.cisco.com/ekits/Cisco\\_VNI\\_Global\\_Mobile\\_Data\\_Traffic\\_Forecast\\_2010\\_2015.pdf](http://newsroom.cisco.com/ekits/Cisco_VNI_Global_Mobile_Data_Traffic_Forecast_2010_2015.pdf)]
- [21] CISCO. *Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic forecast Update, 2011-2016*. Publicado el 14 de febrero de 2012.
- [22] Merrill Lynch. *Global Telecommunications -Mobile data: Traffic jam ahead?*. Publicado el 2 de febrero de 2010.
- [23] 20Minutos. *Las 10 peores profecías tecnológicas de la Edad Contemporánea*. Publicado el 21 de diciembre de 2008. Consultado en febrero de 2013. [disponible on-line: <http://www.20minutos.es/noticia/438307/0/peores/profecias/tecnologicas/>]
- [24] Vilchez, A., Vilchez, J. *Sony Bravia Internet Video, televisión con Internet 2010*. Consultado en febrero 2013. [disponible on-line: <http://www.configurarequipo.com/actualidad-informatica/1957/sony-bravia-internet-video-television-con-internet>]

- [25] iphoneroot.com. *Apple TV Will Be Released In Seven New European Countries On October 4th*. 2011. Consultado el 2 de febrero de 2013. [disponible on-line: <http://iphoneroot.com/apple-tv-will-be-released-in-seven-new-european-countries-on-october-4th/>]
- [26] Wester Digital. *WD Live HUB, centro multimedia – manual de usuario*. 2012. Consultado el 15 de Febrero de 2013. [disponible on-line: <http://www.wdc.com/wdproducts/library/UM/ESN/4779-705046.pdf>]
- [27] Casilari, E. Reyes Lecuona, A. Díaz Estrella, A. y Sandoval, F. (Universidad de Málaga). *Modelado de tráfico telemático*. 2000. Consultado el 10 de febrero de 2013. [disponible on-line: [http://webpersonal.uma.es/~ECASILARI/Research/Papers/Revistas/2000\\_mundo\\_elec1.pdf](http://webpersonal.uma.es/~ECASILARI/Research/Papers/Revistas/2000_mundo_elec1.pdf)]
- [28] Padilla, J.J. *El proceso de Poisson*. 2000. Consultado el 10 de febrero de 2013. [disponible on-line: <http://jpadilla.docentes.upbbga.edu.co/IngTráfico/6-El%20proceso%20de%20Poisson.pdf>]
- [29] Alzate Monroy, M.A. *Introducción al tráfico autosimilar en redes de comunicaciones*. 2001. Consultado en febrero de 2013. [disponible on-line: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reving/article/view/2696/3885>]
- [30] Pérez Mejía, J.A., Romero Parra, J.M. *Tráfico Autosemejante*. 2005. Consultado en febrero de 2013. [disponible on-line: <http://es.scribd.com/doc/37938490/Tráfico-Autosemejante>]
- [31] López Ardao, J.C. *Contribución al análisis del impacto de las correlaciones en las prestaciones de la redes de alta velocidad*. Tesis doctoral. Universidad de Vigo. 1999. Consultado en febrero de 2013. [disponible on-line: <http://www-gris.det.uvigo.es/~jardao/resumen.pdf>]
- [32] PRLOG. *P4P Working Group Forms Non-Profit Corporate Alliance*. 2009. Consultado en febrero de 2013. [disponible on-line: <http://www.prlog.org/10171806-p4p-working-group-forms-non-profit-corporate-alliance.html>]

- [33] Carreón, G. *Sistemas de funciones iteradas, fractalidad y DNA*. 2008. Consultado en febrero de 2013. [disponible on-line: <http://gustavocarreon.blogspot.com.es/2008/03/sistemas-de-funciones-iteradas.html>]
- [34] Marcon, M. *The local and global effects of traffic shaping in the Internet*. 2011. Consultado en febrero de 2013. [disponible on-line: [http://www.mpi-sws.org/~gummadi/papers/traffic\\_shaping.pdf](http://www.mpi-sws.org/~gummadi/papers/traffic_shaping.pdf)]
- [35] Pérez, J.M. *Riesgos al compartir por redes P2P*. 2011. Consultado en febrero 2013. [disponible on-line: <http://www.hijosdigitales.es/2011/07/riesgos-al-compartir-por-redes-p2p/>]
- [36] Blog Silverfenix. *Programas p4p, la próxima generación de programas de intercambio de archivos*. 2009. Consultado en febrero 2013. [disponible on-line: <http://silverfenix7.wordpress.com/2009/12/30/programas-p4p-la-proxima-generacion-de-programas-de-intercambio-de-archivos/>]
- [37] Brito, J. (Universidad de las Palmas de Gran Canaria). *Teoría del gasto público*. 2001. Consultado en diciembre 2012 [disponible on-line: <http://www.personales.ulpgc.es/jbrito.daea/4.%20Fundamentos1.PDF>]
- [38] Mozas, I. *Tutoría de fundamentos de estadística aplicados al turismo*. 2002. Consultado en diciembre 2012. [disponible on-line: <http://es.scribd.com/doc/39808676/curva-de-Lorenz>]
- [39] Sandvine. *Global Internet phenomena spotlight – Europe, fixed access*. 2012. Consultado en febrero de 2013. [disponible on-line: [http://www.sandvine.com/downloads/documents/Phenomena\\_1H\\_2012/Sandvine\\_Global\\_Internet\\_Phenomena\\_Spotlight\\_Europe\\_Fixed\\_1H\\_2012.pdf](http://www.sandvine.com/downloads/documents/Phenomena_1H_2012/Sandvine_Global_Internet_Phenomena_Spotlight_Europe_Fixed_1H_2012.pdf)]
- [40] Sandvine. *Global Internet phenomena spotlight – North America, mobile access, fall 2011*. Consultado en febrero de 2013. [disponible on-line: [http://www.sandvine.com/downloads/documents/10-26-2011\\_phenomena/Sandvine%20Global%20Internet%20Phenomena%20Spotlight%20-%20North%20America%20-%20Mobile%20Access%20-%20Fall%202011.pdf](http://www.sandvine.com/downloads/documents/10-26-2011_phenomena/Sandvine%20Global%20Internet%20Phenomena%20Spotlight%20-%20North%20America%20-%20Mobile%20Access%20-%20Fall%202011.pdf)]

- [41] Sandvine. *Global Internet phenomena spotlight – Europe*. 2011. Consultado en febrero 2013. [http://www.sandvine.com/downloads/documents/05-17-2011\\_phenomena/Sandvine%20Global%20Internet%20Phenomena%20Spotlight%20-%20Europe.pdf](http://www.sandvine.com/downloads/documents/05-17-2011_phenomena/Sandvine%20Global%20Internet%20Phenomena%20Spotlight%20-%20Europe.pdf)
- [42] Ministerio de industria, energía y turismo. *Calidad de servicio*. Consultado en mayo de 2013. [disponible on-line: <http://www.minetur.gob.es/TELECOMUNICACIONES/ES-ES/SERVICIOS/CALIDADSERVICIO/Paginas/Calidad.aspx>]
- [43] Unión Internacional de Telecomunicaciones. *Calidad de servicios en las comunicaciones: marco y definiciones*. 2001. Consultada en mayo de 2013. [disponible on-line: [https://www.itu.int/rec/dologin\\_pub.asp?lang=s&id=T-REC-G.1000-200111-I!!PDF-S&type=items](https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=s&id=T-REC-G.1000-200111-I!!PDF-S&type=items)]
- [44] Telefónica SA. *Las telecomunicaciones de nueva generación*. 2010. Consultado en mayo de 2013. [disponible on-line: [http://sociedadinformacion.fundacion.telefonica.com/docs/repositorio//es\\_ES//TelefonicaySI/Publicaciones/teleco\\_n\\_g.pdf](http://sociedadinformacion.fundacion.telefonica.com/docs/repositorio//es_ES//TelefonicaySI/Publicaciones/teleco_n_g.pdf)]
- [45] Blog uitc-eamp. *Tecnologías MPLS*. 2011. Consultado en mayo de 2013. [disponible on-line: <http://iutc-eamp.blogspot.com.es/2011/05/tecnologias-mpls.html>]
- [46] Gobierno de España. *ORDEN de 26 de marzo de 1999 por la que se establecen las condiciones para la provisión del acceso indirecto al bucle de abonado de la red pública telefónica fija*. Publicado en BOE núm 86 de 10 de abril de 1999. Consultado el 20 de enero de 2012. [disponible on-line: [http://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-1999-8181](http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-1999-8181)]

## 8.2 Bibliografía

- Álvarez-Campana, M. Berrocal, J. González, F. *Tecnologías de banda ancha y convergencia de redes*. 2009. Consultado en diciembre de 2012. [disponible on-line: [http://oa.upm.es/2697/2/BERROCAL\\_LIBRO\\_2009\\_01.pdf](http://oa.upm.es/2697/2/BERROCAL_LIBRO_2009_01.pdf)]
- Veá y Baró, A. *Evolución de la tecnología de acceso a Internet*. 2002. Consultado en diciembre de 2012. [disponible on-line: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/9156/Tavb10de23.pdf?sequence=9>]

- Analysys Mason. *Delivering high-quality video services online*. 2008. Consultado en diciembre de 2012. [disponible online: <http://tvdigital.files.wordpress.com/2009/03/servicios-online-em-hd-video.pdf>]
- Analysys Mason. *Internet and telecoms evolution – key trends and challenges for 2012 and beyond*. 2008. [disponible on-line: [http://www.datatec.co.za/downloads/presentations/presentation\\_Alexandra\\_Analysys\\_Mason.pdf](http://www.datatec.co.za/downloads/presentations/presentation_Alexandra_Analysys_Mason.pdf)]
- Morgan Stanley. *Internet trends*. 2010. Consultado en diciembre de 2012. [disponible on-line: <http://es.slideshare.net/fred.zimny/morgan-stanley-internet-trends-ri041210>]
- Rojas, F. *Tráfico de redes (Fractales)*. 2010. Consultado el 10 de febrero de 2013. [disponible online: <http://es.scribd.com/doc/46841209/Informe-Final-Control-Avanzado-Trafico-de-Redes-Fractales>]
- Bravo, J. *Tráfico autosimilar – algoritmo algebraico para asignación dinámica del buffer*. 2004. Consultado en marzo de 2013. [disponible on-line: [http://www.ups.edu.ec/documents/2497096/2497476/trafico\\_autosimilar2.pdf](http://www.ups.edu.ec/documents/2497096/2497476/trafico_autosimilar2.pdf)]
- Bravo García, P. *Modelado fractal de tráfico de la red de ingeniería telemática*. PFC universidad Carlos III de Madrid. 2004. Consultado en marzo de 2013. [disponible on-line: [http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/9612/1/PFC\\_Patricia\\_Bravo\\_Garcia\\_2004.pdf](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/9612/1/PFC_Patricia_Bravo_Garcia_2004.pdf)]
- Riley, M. Scott, B. *Deep packet inspection: the end of the Internet as we know?* 2009. Consultado en marzo de 2013. [disponible on-line: [http://www.freepress.net/sites/default/files/fp-legacy/Deep\\_Packet\\_Inspection\\_The\\_End\\_of\\_the\\_Internet\\_As\\_We\\_Know\\_It.pdf](http://www.freepress.net/sites/default/files/fp-legacy/Deep_Packet_Inspection_The_End_of_the_Internet_As_We_Know_It.pdf)]
- Parsons, Ch. *Literature Review of Deep Packet Inspection: Prepared for the New Transparency Project's Cyber-Surveillance Workshop*. 2011. Consultado en marzo de 2013. [disponible on-line: [http://www.christopher-parsons.com/Main/wp-content/uploads/2011/04/Parsons-Deep\\_packet\\_inspection.pdf](http://www.christopher-parsons.com/Main/wp-content/uploads/2011/04/Parsons-Deep_packet_inspection.pdf)]
- Sánchez Tena, C. *Evaluación en las arquitecturas de participación activa del proveedor de red en redes peer to peer: aplicación a escenarios de televisión IP*. PFC de la escuela técnica superior de ingeniería de telecomunicaciones de la UPM. 2010. Consultado en enero

de 2013. [disponible on-line:  
[http://oa.upm.es/2515/2/PFC\\_CARLOS\\_SANCHEZ\\_TENA.pdf](http://oa.upm.es/2515/2/PFC_CARLOS_SANCHEZ_TENA.pdf)]

- Mochalski, K., Schulze, H. *Deep Packet Inspection: Technology, Applications & Net Neutrality*. Ipoque. 2009. Consultado en enero de 2013. [disponible on-line: <http://www.ipoque.com/sites/default/files/mediafiles/documents/white-paper-deep-packet-inspection.pdf>]
- NetVeda. *Policy.Net: Policy Based Network Traffic Management*. 2005. Consultado en enero de 2013. [disponible on-line: [http://www.netveda.com/downloads/PolicyNet\\_Whitepaper.pdf](http://www.netveda.com/downloads/PolicyNet_Whitepaper.pdf)]
- MIT Communications Futures Program. *The broadband incentive problem*. 2005. Consultado en diciembre de 2012. [disponible on-line: <http://cfp.mit.edu/docs/incentive-wp-sept2005.pdf>]
- Van Schewick, B. *Network neutrality and QoS: What a non-discrimination rule should look like*. 2012. Consultado en marzo de 2013. [disponible on-line: [http://cyberlaw.stanford.edu/files/publication/files/20120611-NetworkNeutrality\\_0.pdf](http://cyberlaw.stanford.edu/files/publication/files/20120611-NetworkNeutrality_0.pdf)]